



Universidad Nacional Pedro Henríquez Ureña

Facultad de Ciencia y Tecnología

Escuela de Ingeniería Civil

Tema:

Desarrollo de un Sistema de Drenaje Pluvial Sostenible Implementando Separadores Hidrodinámicos en la Urbanización Jardines del Sur, Distrito Nacional

Sustentantes:

Newton Gabriel Pérez Sosa 15-0471

Juan Gabriel Del Rosario Antigua 15-0663

Asesores:

Ing. Amelia Pérez Sánchez

Ing. José Ernesto Montero

Fecha:

17 de Septiembre de 2018

Ciudad de Santo Domingo, República Dominicana

Dedicatorias

Dedico esta investigación, en primer lugar, a Dios por haberme permitido terminar la carrera.

A mi madre, Sonia Antigua, quien me ha apoyado en todo momento y me ha ayudado a superar las dificultades que se me han presentado en el camino.

A mi padre, Juan Ramón del Rosario, a quien admiro como padre y persona, pues a través de su ejemplo y sus consejos me ha guiado e inculcado la responsabilidad y el amor al trabajo; y se dedicaba a la venta de materiales de construcción, ambiente el que nació mi amor por la ingeniería civil.

A mi hermana, Massiel del Rosario Antigua, quien siempre me ha ayudado a tomar las mejores decisiones y me ha apoyado incondicionalmente en esta etapa de mi vida.

A la Universidad Nacional Pedro Henríquez Ureña (UNPHU) y sus docentes por haberme facilitado las herramientas necesarias para incursionar en el ámbito laboral.

A mis asesores, José Montero y Amelia Pérez, por sus enseñanzas y acompañamiento durante este proceso, quienes aportaron sus conocimientos para que mis estudios universitarios concluyan satisfactoriamente.

A mis compañeros, quienes se han convertido en verdaderos amigos demostrando siempre su lealtad, cariño, respeto y hermandad dentro y fuera de las aulas; en especial a mi compañero de trabajo de grado, Newton Gabriel Pérez Sosa, tocayo, colega y amigo, por compartir el deseo por hacer las cosas lo mejor posible y dedicarse a tiempo completo para lograrlo.

Juan Gabriel Del Rosario Antigua

A DIOS, por darme la salud, la sabiduría y la determinación necesaria para completar esta etapa de mi vida, mostrándome el camino que debo seguir, apoyándome en todo momento y dándome fuerzas para seguir adelante

A MIS PADRES NEWTON ALEXIS PEREZ NIN Y YUDELKA MARÍA SOSA PEGUERO, por darme la vida, por acompañarme en todo momento, enseñarme el valor de la responsabilidad y la honestidad para ayudarme a crecer como persona y buen profesional, y que solo con determinación, sacrificio y trabajo duro puedo lograr todas las metas que me proponga. Gracias por su perseverancia en hacer de mi un hombre útil para la sociedad. Dedico y les doy las gracias.

A MIS HERMANOS, Estefany, Alexander, Pedro, Diego, Víctor y Alexia, por darme su apoyo en todo momento.

A MIS ABUELOS, Newton Pérez, Eridania Nin y Cruz Peguero, por su apoyo y sus sabios consejos.

A MIS AMIGOS María Alejandra, Lina Puello, Steven García, Luis Ojeda, Luis Pérez, Rodolpho Pérez y Alexander Andreaux por su apoyo incondicional en todo momento.

A LA UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO HENRÍQUEZ UREÑA (UNPHU) y sus docentes por haberme facilitado las herramientas necesarias para incursionar en el ámbito laboral.

A EL ING. JOSÉ ERNESTO MONTERO Y LA ING AMELIA PEREZ SÁNCHEZ, por asesorar y aportar sus conocimientos y consejos que ayudaron a la elaboración de este trabajo

A EL INGENIERO RAFAEL PEREZ SÁNCHEZ, encargado del departamento de drenaje pluvial de la ciudad de Santo Domingo, quien aportó de sus conocimientos para ayudar a realizar esta investigación.

A la Ingeniera **ROSELIN MARTES NOVAS** y el Agrimensor **ÁNGEL DANILLO RODRÍGUEZ** por ser mis tutores y mostrarme todos sus conocimientos acerca del ámbito profesional de la ingeniería.

A TODAS LAS PERSONAS que aportaron de sus conocimientos y brindaron acceso a las instalaciones de las oficinas donde se pudo obtener la información para el desarrollo de esta investigación.

A mi compañero de tesis, **JUAN GABRIEL DEL ROSARIO**, que junto con su determinación y dedicación logramos completar este trabajo de grado, que Dios lo bendiga mucho.

A MIS COMPAÑEROS DE LA UNIVERSIDAD, Otniel, Raymond, Edibert, Felix, Hilton, Jode Eduardo, Wilton, Rodrigo, Celestín, Emyer, Katherine, Hillary, Manuel, Ana y a todos aquellos con los que tuve el privilegio de compartir durante estos años.

MUCHAS GRACIAS A TODOS Y QUE DIOS LOS BENDIGA MUCHO

Newton Gabriel Pérez Sosa

Tabla de contenido

Dedicatorias	2
Tabla de Contenido	4
Resumen.....	7
CAPÍTULO I.....	8
1.1 Introducción	9
1.2 Planteamiento del problema.....	9
1.3 El problema ambiental	11
1.4 Mantenimiento	12
1.5 Justificación.....	12
1.6 Preguntas de la Investigación.....	13
1.7 Objetivos	13
1.7.1 Objetivo General.....	13
1.7.2 Objetivos Específicos	13
1.8 Antecedentes	13
1.9 Alcances	18
1.10 Limitaciones.....	18
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO	19
2.1 Historia del drenaje pluvial de Santo Domingo	20
2.2 Alcantarillado pluvial.....	22
2.3 Componentes de un sistema de drenaje pluvial típico:	22
2.4 Parámetros de Diseño.....	25
2.5 Normas de diseño.....	33
2.6 Programa de diseño de redes de alcantarillado	35
2.7 Aporte de sedimentos	35
2.8 Separador de vórtice hidrodinámico.....	36
2.9 Descargas	37
2.10 Operación y mantenimiento de la red de alcantarillado	37
2.11 Calidad de aguas lluvia y clasificación de cuerpos receptores.....	38
2.12 Marco conceptual	38
2.13 Marco contextual.....	41
CAPITULO III	47
3.1 Enfoque de la investigación	48
3.1 Tipo de investigación	48
3.4 Población o universo de estudio.....	49
3.5 Muestra.....	49
3.6 Técnicas de recolección de información	49
3.7 Fuentes de la información	50
3.8 Instrumentos de la Investigación.....	51

CAPITULO IV RESULTADOS	52
4.1 Levantamiento de estructuras de drenaje existentes.....	53
4.2 Implementación de separadores hidrodinámicos	55
4.3 Diseño de sistema de drenaje pluvial con separadores hidrodinámicos.....	61
4.3.2 Tabla de diseño de separadores hidrodinámicos	65
4.3.3 Tabla de cálculos y planos del sistema de drenaje propuesto	66
4.3.4 Mantenimiento del sistema propuesto.....	68
4.3.5 Presupuesto del sistema propuesto.....	71
Conclusiones	72
Recomendaciones	74
Bibliografía	75
Anexos	76

Índice de tablas

Tabla 1. Longitud máxima entre pozos de inspección	25
Tabla 2. Periodo de retorno	26
Tabla 3. Coeficiente de escorrentía	29
Tabla 4. Velocidad máxima permisible.....	33
Tabla 5. Valores de rugosidad de materiales.....	34
Tabla 6. Fuente de sedimentos	36
Tabla 7. Levantamiento instalaciones existentes	53
Tabla 8. Parámetros de diseño.....	58
Tabla 9. Cálculo de caudales de aporte y capacidad de conducción.....	62
Tabla 10. Tabla de diseño de separador Hidrodinámico.....	65
Tabla 11. Tabla de cálculos del sistema de drenaje propuesto.....	67
Tabla 12. Plan de mantenimiento.....	69
Tabla 13. Registro de inspección y mantenimiento.....	69
Tabla 14 Presupuesto del sistema propuesto.....	71

Índice de ecuaciones

Ecuación 1. Coeficiente de escorrentía	28
Ecuación 2. Caudal pico de aguas lluvia.....	32
Ecuación 3 Velocidad de flujo circulante	33
Ecuación 4 Pendiente longitudinal del tramo.....	34
Ecuación 5 Caudal de conducción.....	34

Índice de anexos

Anexo 1. Detalle de ubicación y curva de nivel.....	77
Anexo 2. Detalle de imbornales	80
Anexo 3. Levantamiento de drenaje existente	83
Anexo 4. Descarga libre colector Núñez de Cáceres.....	87
Anexo 5. Detalle de Downstream Defender.....	91
Anexo 6. Detalle de pozo de inspección y empalme.....	92

Resumen

La presente investigación se basó en el desarrollo de un sistema de drenaje pluvial ambientalmente sostenible en la urbanización Jardines del Sur a partir de la implementación de separadores hidrodinámicos en la red de alcantarillado pluvial con la finalidad de reducir la cantidad de contaminantes que son vertidos al litoral costero y garantizar la rápida evacuación de las aguas provenientes de la escorrentía pluvial.

Esta investigación comprende un desarrollo progresivo de diferentes etapas que inicia desde la recopilación bibliográfica e identificación de las características propias de la zona de estudio hasta la implementación y detalles del funcionamiento de estructuras para el tratamiento de las escorrentías superficiales.

En el presente estudio se realizó un levantamiento donde se contempla la ubicación y clasificación de las estructuras de captación de aguas lluvias existentes en la zona para tomar en cuenta su posible aprovechamiento en el sistema de drenaje propuesto, el cual se evaluó en un software de diseño de drenaje pluvial.

Las conclusiones de esta investigación establecen la viabilidad técnica de la implementación de estructuras para el manejo ambiental sostenible en sistemas de drenaje pluvial en las zonas urbanas de la ciudad de Santo Domingo. En el caso específico de la urbanización Jardines del Sur, ubicada en una zona caracterizada por un sistema de drenaje pluvial conformado principalmente por imbornales con filtrantes.

La implementación del sistema propuesto en esta investigación facilitará considerablemente las labores de mantenimiento y reducirá prácticamente en su totalidad el volumen de sedimentos y flotantes que son descargados a los cuerpos receptores, ubicando estratégicamente separadores hidrodinámicos que se encargarán de recolectar los contaminantes que puedan ingresar al sistema.

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 Introducción

En la última década la escorrentía superficial se ha identificado como una fuente clara e importante de contaminación de las masas de aguas superficiales y subterráneas, conscientes de esta circunstancia en muchos países están promoviendo varios instrumentos normativos con el fin de minimizar la contaminación de los sistemas de drenaje pluvial.

Esta situación está impulsando la búsqueda de estrategias de gestión y tecnologías novedosas, y diferentes a las convencionalmente usadas en el diseño y construcción de los sistemas de drenaje. Las Técnicas de Drenaje Urbano Sostenible (TDUS) o Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS), son un conjunto de técnicas emergentes que presentan una alternativa y/o complemento a la gestión convencional de las aguas pluviales (Calidad, 2003).

En los últimos años las costas de nuestro país se han visto afectadas por la gran cantidad de desperdicios y sedimentos provenientes de la escorrentía superficial, este hecho ha motivado la búsqueda de una solución que permita controlar esta situación y que a su vez trate las causas de este fenómeno, entre las cuales se encuentra la ineficiencia de los sistemas de drenaje provocada en muchos casos por la dificultad que deben enfrentar los organismos municipales a la hora de realizar las labores de mantenimiento.

La presente investigación pretende evaluar las técnicas de drenaje urbano ambientalmente sostenibles implementadas en varios países como es el caso de México, Estados Unidos, España, entre otros, identificando sus características, limitaciones y requisitos con el fin de adecuar dichos sistemas a las condiciones de la ciudad de Santo Domingo. Además de analizar la viabilidad del uso de estos elementos de control y sus efectos en la optimización del sistema de drenaje, tomando como zona de prueba la urbanización Jardines del Sur.

1.2 Planteamiento del problema

La ciudad de Santo Domingo se ha visto afectada por la acumulación de agua debido a un ineficiente, y en muchos casos inexistente, sistema de drenaje pluvial, causando molestias a los habitantes cuando estas aguas invaden las propiedades domiciliarias y comerciales, además del entorpecimiento del tránsito propiciado por la inundación de las calles y avenidas.

Solo un 10% del territorio urbano de la ciudad de Santo Domingo, cuenta con alcantarillado pluvial, cubriendo 2,225 ha de un total de 22,000 ha en las que se extiende la ciudad. Los problemas principales que se observan son el manejo y mantenimiento de los sistemas existentes (Ayuntamiento del Distrito Nacional, 1994).

A raíz de la gran cantidad de conexiones erradas de tuberías de aguas negras e industriales que durante el pasar de los años muchas personas han realizado en la red de alcantarillado pluvial existente y, gran parte del sistema se encuentra obstruido como consecuencia de la acumulación de residuos sólidos provenientes de las aguas servidas. Además de ocasionar molestias en los alrededores por los malos olores que producen éstas aguas, debido a que el sistema de drenaje pluvial es un sistema abierto a la atmósfera, a diferencia del sistema de alcantarillado sanitario que es un sistema cerrado.

“Otro hecho que ha influenciado propiciando la ineficiencia de estos sistemas de drenaje es el reciente crecimiento vertical de la ciudad específicamente en la zona céntrica, donde se han empezado a construir una serie de torres residenciales y comerciales, donde antes las edificaciones predominantes eran casas unifamiliares. Este acontecimiento ha producido un aumento considerable en el escurrimiento superficial, con la misma estructura de drenaje obsoleta (en el caso de existir), debido a la ausencia de un desarrollo armónico de la ciudad, con relación a la estructura de vivienda y las obras de servicios de distribución y recolección de aguas” (Sánchez, 2018).

1.3 El problema ambiental

Otra situación a enfrentar es la contaminación producida como consecuencia de las precipitaciones que arrastran una gran cantidad de desechos hacia los contenes para luego ser vertidos en los cuerpos receptores, contaminando los mismos. Una muestra es la gran cantidad de basura que se observa en el litoral del mar Caribe, el malecón de Santo Domingo y el río Ozama.

Como se pudo apreciar tras el paso de la tormenta tropical Beryl, la cual dejó cerca de mil toneladas de basura, que fueron arrastradas por los ríos Isabela y Ozama hacia la costa del litoral sur en el Distrito Nacional, causando gran conmoción a nivel nacional e internacional.

León (2018) afirma: “Solo en el Distrito Nacional la mayoría de los barrios que se han levantado de manera improvisada y sin planificación a orillas de los ríos Ozama e Isabela tienen una densidad poblacional superior a los veinte mil habitantes por kilómetro cuadrado, con deficiencias de servicios públicos como el drenaje sanitario y la recogida de basura. Los que están más cerca del río tienen esos afluentes como sus vertederos”.

Salcedo (2011) afirma: “En la actualidad, el país está produciendo miles de toneladas diarias de desechos sólidos, que se disponen a cielo abierto, mucha de esta basura va a parar a las calles y avenidas, para luego pasar a los sistemas de drenaje de la ciudad y de ahí seguir su trayecto hacia el río Ozama, que lo conducirá por último al mar Caribe.

Además otro punto a considerar son las cañadas que representan un gran foco de contaminación para sus alrededores, se han intentado sanear algunas cañadas pero resulta difícil debido al alto costo que involucra esta acción. En diversos sectores de la ciudad, las cañadas constituyen el único “sistema de drenaje” del que se dispone para las aguas provenientes de la escorrentía superficial, las cuales se vierten sin ningún tratamiento al cuerpo receptor.

1.4 Mantenimiento

Otro problema es la inexistencia de una “cultura de mantenimiento” y las obras se construyen y se dejan sin aplicar políticas de cuidado y preservación. Muestra de ello lo constituyen los pozos con filtrante que contienen una o varias cámaras de decantación, las cuales deben estar bajo constante observación para realizar jornadas de limpieza para remover las arenas, rocas y cualquier otro tipo de residuos acumulados.

Actualmente, los ayuntamientos llevan a cabo los planes de mantenimiento de los sistemas de drenaje pluvial. Sin embargo, en múltiples ocasiones no cuentan con un método adecuado para ejecutarlos.

Salcedo (2011) afirma: “Pero imagínense lo difícil que es cuando usted tiene un Distrito Nacional con más de veinte mil pozos filtrantes. Cuando venimos a limpiar el pozo quinientos, ya tenemos que volver a empezar con el número uno”.

1.5 Justificación

Los problemas constantes que traen consigo las inundaciones provocadas por la ineficiencia del sistema de drenaje pluvial de la zona, así como el impacto ambiental producido por los contaminantes arrastrados por la escorrentía pluvial al momento de una precipitación, nos han motivado a proponer el diseño de un sistema de drenaje pluvial que permita la rápida evacuación de las aguas pluviales y que, al mismo tiempo, evite la contaminación de los recursos hídricos agrupando toda la carga contaminante en un solo lugar, lo que facilita el mantenimiento y limpieza por medio de los separadores hidrodinámicos.

Este es un sistema innovador que se ha utilizado en varias partes del mundo, siendo un éxito, dado que desempeña las funciones de un separador de desechos sólidos, sedimentador y una trampa de grasas, de forma compacta y eficiente, realizando el tratamiento primario de altos volúmenes de agua pluvial.

Dicho sistema opera solamente con la mecánica del agua, por lo tanto no requiere de energía eléctrica, no tiene partes móviles y es un equipo prefabricado que ofrece calidad homogénea además de rapidez de instalación por un bajo costo de mantenimiento.

(Hydro, 2013).

1.6 Preguntas de la Investigación

- 1) ¿Cómo se diseña un sistema de drenaje urbano sostenible utilizando separadores hidrodinámicos?
- 2) ¿Se puede optimizar las labores de mantenimiento utilizando separadores hidrodinámicos?

1.7 Objetivos

1.7.1 Objetivo General

Desarrollar un sistema de drenaje pluvial sostenible a partir del uso de los separadores hidrodinámicos como unidades de tratamiento primario en un sector de la ciudad de Santo Domingo.

1.7.2 Objetivos Específicos

- Diseñar un sistema de drenaje pluvial implementando separadores hidrodinámicos.
- Analizar los resultados y evaluar el desempeño de los separadores hidrodinámicos como estructuras que permitan optimizar la operación del sistema de drenaje pluvial, generando una serie de recomendaciones para tal fin.

1.8 Antecedentes

Muchas son las investigaciones realizadas sobre el tema de la solución del drenaje pluvial de la ciudad de Santo Domingo y Distrito Nacional, debido a que la mayor parte de la red existente se encuentra en el antiguo casco urbano y con el transcurso de los años los cambios de la infraestructura de la ciudad y su rápido crecimiento, han provocado que estos sistemas hoy en día sean insuficientes para manejar el volumen de escorrentía pluvial generado en distintas zonas. Se han realizado numerosas propuestas para la solución de este problema. A continuación se citan algunas:

En el año 1994, el Ayuntamiento del Distrito Nacional, en colaboración con las empresas consultoras Metropolitana Milanese y Electroconsult, publica el “Programa de reestructuración y crecimiento de la ciudad de Santo Domingo y el Distrito Nacional”.

Este estudio determinó que en la ciudad de Santo Domingo sólo un 10% del territorio urbano cuenta con alcantarillado pluvial, cubriendo 2,225 ha. de un total de 22,000 ha., en que se extiende la ciudad. Este territorio se cubre con 45 sistemas de drenaje. Existen como soluciones posibles para el resto del territorio aproximadamente 20,000 pozos de drenaje. También expresó que uno de los mayores problemas del sistema de recolección y descarga de las aguas de lluvia es el escaso mantenimiento.

En este estudio se ha elaborado un plan de fortalecimiento de la división de drenaje pluvial del Ayuntamiento del Distrito Nacional, institución responsable del mantenimiento, con el objetivo final de dar cuidado regular a todos los sistemas. Este plan se dividió en las siguientes fases:

- Fase A: digitación y catastro electrónico de las infraestructuras existentes.
- Fase B: optimización de las actividades de la actual organización con medidas más urgentes para optimizar la productividad y la eficiencia de la división de drenaje pluvial.
- Fase C: mantenimiento regular a lo largo de las vías principales de la red vial matriz.
- Fase D: mantenimiento regular de todos los sistemas existentes.

Los objetivos de la fase A y fase B es aumentar la productividad y disminuir los gastos superfluos y el de la fase C y fase D, es disminuir los costos de mantenimiento. (Ayuntamiento del Distrito Nacional, 1994).

En el año 2013, el Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones (MOPC) adjudicó al consorcio de empresas consultoras Auding, Watson e Isco para el desarrollo del “Plan director de drenaje pluvial para la ciudad de Santo Domingo”.

Este plan tiene como objetivo principal resolver el problema global de las escorrentías de la ciudad de Santo Domingo evitando inundaciones y estancamientos en puntos bajos, definiendo para ello los ejes primarios para el drenaje del área de estudio hacia su medio receptor superficial: los ríos Ozama, Haina, Isabela y el mar Caribe dependiendo de la cuenca vertiente.

En este plan se evaluaron tres diferentes alternativas con el objetivo de elegir la más idónea que evite las posibles inundaciones en diversas zonas orográficamente deprimidas. Dichas alternativas son las citadas a continuación:

- Alternativa A: drenaje tradicional mediante red de colectores.
- Alternativa B: drenaje mediante red de colectores y embalses de laminación
- Alternativa C: drenaje mixto, combinación de sistema local, a través de una red pozos filtrantes complementados por una red de colectores.

En este estudio se determinó que la Alternativa B era la más idónea para solucionar la red de drenaje pluvial en la ciudad de Santo Domingo.

Esta alternativa propone un drenaje tradicional, mediante una red de colectores interceptores de todas las escorrentías para evacuarlas por gravedad y en régimen de descarga libre hacia los medios receptores; pero en determinadas sub-cuencas se plantea intercalar en los colectores primarios, embalses reguladores, bien existentes o de nueva construcción.

En estos embalses se laminarán las puntas de los caudales máximos que se puedan generar durante precipitaciones extraordinarias, por lo que el colector de desagüe podrá ser de un tamaño relativamente menor, con lo que su construcción se facilita considerablemente. En los embalses también se aprovechará la posible capacidad de percolación del subsuelo, tanto por filtración directa, como a través de pozos filtrantes.

A continuación, las ventajas:

- Es una alternativa novedosa y versátil al introducir elementos reguladores en el sistema de evacuación de las escorrentías.
- Es una alternativa económica.
- En los embalses de regulación se pretende aprovechar la capacidad de percolación del terreno, cuyo mantenimiento será relativamente asequible al estar debidamente localizados.
- Si las condiciones futuras de permeabilidad de la superficie urbana aumentan respecto a las consideradas en los diseños definitivos, la capacidad de la red drenante se podría aumentar ampliando los embalses sin necesidad de construir colectores adicionales; es por tanto, una alternativa segura.
- Si se mantienen adecuadamente, las infraestructuras previstas pueden perdurar múltiples decenas de años (Auding, Watson , 2013).

A continuación se citan algunos casos de aplicación de separadores hidrodinámicos como solución a problemas de inundaciones y contaminación producto de la escorrentía pluvial.

En el año 2013, el Fideicomiso Polígono Edison, en colaboración con la cadena de tiendas Oxxo, llevaron a cabo un proyecto de aprovechamiento pluvial en la prolongación Edison en la ciudad de Monterrey, México.

Situación: con una población de 4 millones de personas, Monterrey es la tercera ciudad más grande de México. En un ambicioso proyecto de rehabilitación social, 15,000 m² de isletas abandonadas que se extienden a lo largo de ocho cuadras de la avenida principal Edison Avenue de Monterrey se han transformado en un punto de encuentro para la comunidad local.

Problema: con una cuenca hidrográfica de 140,000 m² que drenaba casi 300,000 m³ de agua lluvia, el área era propensa a fuertes inundaciones y estaba sujeta a la contaminación de basura, escombros flotantes e hidrocarburos, además, en las regiones áridas del norte de México, la escasez de agua se ha convertido en un problema creciente, causado por la extracción excesiva de los acuíferos subterráneos.

Solución: se utilizó un separador hidrodinámico (Downstream Defender®) de 8 pies, que retirará los papeles y botellas plásticas que pueda arrastrar el agua lluvia, así como la tierra y los hidrocarburos, todo esto conectado a un sistema de filtro, que se encargará de retirar partículas finas de más de 20 micras, entre las que puede haber materia orgánica, metales u otros contaminantes, dándole una mayor calidad al agua. (Hidropluviales, 2013).

En septiembre de 2012, la terminal marítima “International Pease” instaló un sistema de separadores hidrodinámicos en la ciudad portuaria de Portsmouth, New Hampshire con el objetivo de evitar la contaminación de los sedimentos de las aguas pluviales de la terminal.

Situación: la terminal marítima “International Pease”, ubicada directamente en la costa del histórico Portsmouth, New Hampshire, funcionó durante años como un depósito de chatarra que enviaba materiales al exterior para su reciclaje. Durante las pruebas rutinarias de muestras de aguas pluviales efluentes, que se requieren de cualquier compañía que opere bajo un Permiso General de Aguas Pluviales Industriales (IGSP), Pease descubrió que estaban excediendo sus puntos de referencia para sólidos suspendidos totales (SST). Bajo pena de multas y acciones legales del departamento de servicios ambientales de New Hampshire tuvieron que encontrar una solución a su problema de sedimentos.

Problema: a pesar de implementar un barrido diario del sitio y el uso de insertos de cuencas de capturas, la terminal de Pease continuó siendo superior a sus puntos de referencia. La contaminación de los sedimentos de las aguas pluviales de la terminal, tenía el potencial de causar estragos en la vida acuática en una de las ciudades portuarias del noreste de Estados Unidos.

Solución: se eligieron 3 separadores de aguas pluviales Downtream Defender de 6ft para el sitio, debido a su capacidad de capturar grandes cantidades de sedimentos de basura sin riesgo de deslave. Además, Downstream Defender puede tratar grandes caudales en una excavación pequeña y funciona bien en sitios con condiciones de marea que eran aplicables para la terminal, dada su ubicación costera. Los sistemas se instalaron principalmente para tratar los sedimentos, pero también se ha comprobó que eliminan:

- Sólidos Suspendidos Totales (SST)
- Hidrocarburos
- Metales unidos a sedimentos

El separador eliminó más del 90% de las partículas de sedimento de más de 500 micrones y pruebas de terceros demostraron que Downstream Defender tiene un porcentaje de eliminación de SST de más del 80% cuando las tasas de flujo son de 113 litros por segundo (l/s) o menos. (Hydro International, 2011).

1.9 Alcances

El presente estudio abarca la urbanización Jardines del Sur ubicada en el Distrito Nacional de la ciudad de Santo Domingo, República Dominicana, como zona de prueba para el uso de los separadores hidrodinámicos como unidades de tratamiento primario en un sistema de drenaje pluvial urbano, revisando sus limitaciones, la viabilidad técnica de su implementación y evaluando su eficacia en un sector de la ciudad de Santo Domingo.

El diseño contempla únicamente la ubicación de obras de captación red de colectores, ubicación de unidades de tratamiento primario para la escorrentía en la red de alcantarillado pluvial dentro de la zona de estudio, así como un programa de inspección y mantenimiento, además de un cuadro con los costos de las partidas pertenecientes al sistema de drenaje propuesto.

1.10 Limitaciones

La falta de información actualizada de los parámetros de diseño de sistemas de drenaje pluvial en las normativas nacionales.

Los archivos centrales en los organismos responsables no disponen de la información detallada y actualizada sobre las instalaciones existentes de drenaje pluvial en la zona de estudio.

Falta de contacto directo con los fabricantes de los separadores hidrodinámicos con el fin de obtener información referente a los costos de suministro e instalación de las unidades.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Historia del drenaje pluvial de Santo Domingo

En la primera mitad del siglo XX ocurre la segunda intervención de los Estados Unidos en el país, periodo durante el cual se llevaron a cabo un conjunto de obras en la ciudad de Santo Domingo, tales como la primera red de alcantarillado pluvial cuya función era recolectar las aguas del viejo casco urbano, lo que hoy conocemos como la Ciudad Colonial y el ensanche San Carlos, donde el colector principal va por la calle Capotillo (actualmente Av. Mella) y descarga en el río Ozama. Gran parte del recorrido de este alcantarillado se construyó sobre las aceras.

Durante la segunda mitad del siglo XX, el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) financió la construcción de una red de alcantarillado en la zona norte de la ciudad, donde en muchos casos atravesaba Santo Domingo hasta llegar al mar Caribe.

Para el año 1982 se pone en vigencia la Ley de Protección e Incentivo Industrial, promoviendo la creación de muchas industrias tanto extranjeras como nacionales y generando miles de empleos directos e indirectos en todo el país, principalmente en la ciudad de Santo Domingo.

A partir de este hecho, se crearon muchos sectores o barrios improvisados habitados por personas provenientes de los campos que se asentaron en diversos puntos alrededor de la ciudad. Esta situación trajo consigo que el gobierno dominicano llevara a cabo sistemas descentralizados de abastecimiento de agua potable y recolección de aguas servidas y en algunos casos excepcionales sistemas de recolección de agua pluvial, aunque en su gran mayoría el escurrimiento superficial se evacuaba por medio de cañadas naturales como es el caso de la cañada de Guajimía.

Sánchez, (2018) afirma. “Para satisfacer las necesidades básicas de estas comunidades se optó por la creación de pozos filtrantes para enviar al subsuelo las aguas negras y en las intersecciones donde se acumulaba el agua proveniente de las lluvias se construía un registro y un pozo filtrante; muchas veces, sin realizar estudios previos del subsuelo ni tomar en cuenta las especificaciones adecuadas para su dimensionamiento, en lugar de colocar un sistema adecuado de alcantarillado que permita la conducción del agua originaria de la esorrentía pluvial.

Durante las décadas de los 80's y 90's se llevaron a cabo varios proyectos de gran importancia para la ciudad, como es el caso de muchas de las principales avenidas que hoy en día utilizamos como la Av. José Núñez de Cáceres la cual incluyó la construcción del primer túnel de desagüe pluvial de la ciudad, que consistía en un túnel de 3 metros de diámetro, con una capacidad máxima de 20 metros cúbicos por segundo (m³/s), construido en su primera fase desde la intersección de la Av. George Washington con la Av. Núñez de Cáceres hasta la avenida Av. Mirador sur, justo después del túnel vial que atraviesa el parque Mirador Sur.

Este proyecto se detuvo luego de finalizar la construcción del túnel vial, pero tomando en cuenta las previsiones del desagüe para su futura extensión. Dicha extensión se inició en el año 1998 y luego de varios contratiempos se terminó en el año 2009. Esta nueva fase consistía en un tramo de 2.50 km de largo, desde el viaducto de la Av. Núñez de Cáceres, hasta la intersección de la Av. Núñez de Cáceres con la Av. Gustavo Mejía Ricart, justo en el "Parque Ambiental" de la Núñez de Cáceres, con esta solución abarca una cuenca delimitada al norte por la Av. John F. Kennedy, al sur por la Av. 27 de febrero, al este por la calle Carmen de Mendoza de Cornielle y al oeste por la calle Teodoro Chasseriau (antigua calle Palacio de los deportes), abarcando los sectores de: los Prados, el Millón, Ensanche Quisqueya, las Praderas, la Castellana, Mirador Sur, entre otro (Diario Libre, 2009).

2.2 Alcantarillado pluvial

El alcantarillado pluvial está conformado por el conjunto de colectores y canales necesarios para evacuar la escorrentía superficial producida por la lluvia (Lopez, 2003).

Los sistemas de recolección y evacuación de aguas lluvia pueden ser proyectados y construidos para:

- 1) Permitir una rápida evacuación de la escorrentía de aguas lluvia de las vías públicas.
- 2) Evitar la generación de caudales excesivos en las calzadas.
- 3) Evitar la invasión de aguas lluvia a propiedades públicas y privadas.
- 4) Evitar la acumulación de agua en vías de tránsito.
- 5) Evitar las conexiones erradas del sistema de recolección y evacuación de aguas residuales.
- 6) Mitigar efectos nocivos a cuerpos de agua receptores por contaminación de escorrentía de aguas lluvias urbanas.

(RAS, 2000)

2.3 Componentes de un sistema de drenaje pluvial típico:

Imbornal o Sumidero: Estructura con entrada superior para captar los escurrimientos superficiales de las áreas de drenaje consideradas (CAASD, 2010).

Se encargan de recoger la escorrentía superficial de las calles e introducirla a la tubería del alcantarillado pluvial o combinado. Se ubican a lado y lado de la calle y en las esquinas aguas abajo de cada manzana antes del cruce peatonal. También deben colocarse en todos los puntos bajos o depresiones de la red vial, en las reducciones de

pendientes longitudinales de la vía y antes de los puentes vehiculares, la entrada a la red del alcantarillado debe hacerse en los pozos de inspección (Lopez, 2003).

Clasificación de los imbornales o sumideros

Sumidero de Ventana: consiste en una captación lateral a través de una abertura vertical sobre el borde de la acera, a manera de un vertedero lateral en la cuneta de la calle.

Sumidero de Cuneta: consiste en una captación con rejilla por el fondo de la cuneta de la calle.

Sumidero Mixto: Es la combinación de un sumidero de ventana y uno de cuneta.

Sumidero de calzada: Consiste en una captación por el fondo con rejilla a lo ancho de la calzada de la vía.

Pozo de inspección: son estructuras que permiten la unión de tramos de la red de alcantarillado; permiten el cambio de dirección en el alineamiento horizontal o vertical, el cambio de diámetro o sección y labores de inspección, limpieza y mantenimiento general del sistema.

Según (Lopez, 2003), el pozo de inspección consta generalmente de los siguientes elementos:

Tapa de acceso: tiene como fin permitir el acceso para la realización de labores de limpieza y mantenimiento general de las tuberías, así como de proveer al sistema de una adecuada ventilación para lo cual tiene varios orificios.

Cilindro: es el cuerpo principal del pozo de una altura variable según la profundidad de las tuberías concurrentes.

Reducción cónica: elemento ubicado entre la tapa y el cilindro que permite la conexión estructural de estos elementos de diámetro diferente.

Cañuela: en la base del cilindro se localiza la cañuela, la cual es un canal semicircular en concreto, encargado de hacer la transición de flujo entre las tuberías

entrantes y el colector saliente de acuerdo con el régimen de flujo en ellas y las pérdidas de energía ocasionadas por la unión.

Aliviadero: es una estructura diseñada con el propósito de separar los caudales que exceden la capacidad del sistema y conducirlos a un sistema de drenaje de agua lluvia.

Son estructuras que tienen como objetivo derivar parte del caudal de escorrentía pluvial a drenajes que usualmente son naturales o a almacenamientos temporales, aliviando así los caudales conducidos por colectores, interceptores o emisarios al sitio de disposición final. En algunos casos están provistos de un tanque de almacenamiento a continuación del alivio con el propósito de almacenar los contaminantes provenientes del primer lavado de la época de lluvias, el cual puede arrastrar concentraciones mayores de contaminación.

Los aliviaderos pueden ser laterales, transversales o de tipo vórtice, y deben permitir que el caudal de tiempo seco continúe por el colector hasta la planta de tratamiento o lugar de disposición final pero durante determinados eventos de precipitación y escorrentía asociada deben derivar o aliviar lo que le corresponda de aquella porción en exceso a la capacidad de la red aguas abajo o a la capacidad de la planta de tratamiento (en caso de que se requiera) (RAS, 2000).

Aliviaderos modernos: son estructuras prefabricadas que permiten dentro de su diseño la retención de sólidos de tamaño pequeño, algunos los devuelven al sistema de alcantarillado. Asimismo, permiten la auto limpieza y algunos, el almacenamiento temporal (Novoa, 2004).

Contén: canal de sección triangular ubicado entre el bordillo y la calzada de una calle destinado a conducir las aguas lluvias hacia los sumideros (RAS, 2000).

Tramo: colector comprendido entre dos estructuras de conexión. (RAS, 2000).

Clasificación de las tuberías según (Lopez, 2003).

- Tuberías laterales o iniciales: son aquellas que reciben únicamente los desagües provenientes de los domicilios.
- Tuberías secundarias: reciben el caudal de dos o más tuberías iniciales.
- Colector secundario: recibe el desagüe de dos o más secundarias.
- Colector principal: capta el caudal de dos o más colectores secundarios.
- Emisario final: conduce todo el caudal de aguas residuales o lluvias a su punto de entrega, que puede ser de una planta de tratamiento o un vertimiento a un cuerpo de agua como un río, lago o el mar.

La distancia máxima entre los tramos comprendidos entre dos pozos de inspección será en función de los diámetros de los colectores (ver tabla 1).

Tabla 1: *Longitud máxima entre pozos de inspección*

DIAMETROS COLECTORES (Pulggs)	LONGITUD MAXIMA ENTRE REGISTROS (M)
8-12	80
14-24	120
24-36	140

Fuente: (López, 2003).

2.4 Parámetros de Diseño

Período de diseño: corresponde al horizonte de tiempo en que se hace la planeación del proyecto dentro del cual se deben tener en cuenta variaciones características de la permeabilidad y producción de escorrentía de la cuenca, los cuales son funciones del tiempo (...) Se recomienda utilizar un período de diseño de 30 años para sistemas con nivel de complejidad alto y de 25 años para los demás sistemas (RAS, 2000).

Período de Retorno: hace referencia al tiempo esperado para que ocurra la lluvia con la cual se ha diseñado el sistema de alcantarillado. El período de retorno de diseño debe determinarse de acuerdo con la importancia de las áreas y con los daños, perjuicios o molestias que las inundaciones periódicas puedan ocasionar a los habitantes, el tráfico vehicular, el comercio, la industria, etc. (ver tabla 2).

Tabla 2: *Período de retorno recomendado según el grado de protección del sistema*

Características de área de drenaje	Mínimo (años)	Aceptable (Años)	Recomendado (Años)
Tramos iniciales en las zonas residenciales menores a 2 ha	2	2	3
Tramos iniciales en zonas comerciales o industriales, con áreas tributarias menores a 2 ha	2	3	5
Tramo de alcantarillado con áreas tributarias entre 2 y 10 ha	2	3	5
Tramos de alcantarillado con áreas tributarias mayores a 10 ha	5	5	10
Canales abiertos en zonas montañosas (alta velocidad) o a media ladera, que drenan áreas mayores a 1000 ha	10	25	50
Canales abiertos en zonas montañosas (alta velocidad) o a media ladera, que drenan áreas mayores a 1000 ha	25	50	100

Nota: En la tabla se establecen los valores de periodos de retorno de acuerdo con el grado de protección, con las características del área de drenaje y el tamaño total de dicha área para el sistema o sector diseñado. Fuente: (RAS, 2000).

Tiempo de penetración o concentración inicial: es el tiempo que tarda el agua en llegar a la entrada considerada desde el punto más remoto del área de drenaje, depende de las características de la superficie tales como pendiente y tipo de superficie. Oscila entre 10 y 20 minutos (López, 2003).

Tiempo de conducción o recorrido en el colector: es el tiempo invertido en escurrir dentro del conducto desde la entrada hasta el punto bajo considerado. Dependerá de la velocidad y la longitud del colector entre pozos (López, 2003).

Tiempo de concentración: es la suma del tiempo de penetración y el tiempo de conducción. Es el tiempo que tarda el agua en llegar desde el punto más alejado de cuenca hasta el colector; o en otros términos es el tiempo requerido desde el comienzo de la lluvia para que toda el área esté contribuyendo al colector en cuestión (López, 2003).

Determinación de área de aporte o área de drenaje:

Para el diseño y aplicación de las redes de alcantarillado de aguas lluvias, el trazado debe seguir las calles del municipio o localidad. La extensión y el tipo de área que drenan hacia un tramo deben determinarse de forma individual, incluyendo el área tributaria propia del tramo bajo consideración.

La medición de las áreas de drenaje en los planos debe hacerse utilizando la información geográfica disponible en la persona prestadora del servicio público de alcantarillado, o en las oficinas de planeación municipal.

Coefficiente de impermeabilidad o escorrentía

El coeficiente de impermeabilidad es función del tipo de suelo del área tributaria, del grado de permeabilidad de la zona, de la pendiente del terreno y de todos aquellos otros factores que determinen que parte de la precipitación se convierte en escorrentía (RAS, 2000).

Según (López, 2003) entre estos factores se encuentran:

- Evaporación
- Intersección vegetal
- Detención superficial en cunetas, zanjas o depresiones
- Infiltración

De todos los factores anteriores, el de mayor importancia es el de infiltración, el cual es función de la impermeabilidad del terreno.

También se deben considerar los planes de ordenamiento territorial adoptados por el concejo municipal sobre los usos del suelo, los planes de desarrollo urbano aprobados por el municipio y cualquier otro tipo de consideración legal sobre el uso futuro del suelo. Esto se requiere para estimar el coeficiente de impermeabilidad para el momento final del período de diseño, el cual puede ser sustancialmente diferente al coeficiente de impermeabilidad en el momento de entrada de operación de la red de alcantarillado de aguas lluvia.

El tránsito hidráulico de la creciente producida por el evento de lluvia de diseño debe ser desarrollado tanto para las condiciones de coeficiente de impermeabilidad correspondientes al momento de puesta en marcha del proyecto como para las condiciones de coeficientes de impermeabilidad correspondientes al final del período de diseño. (RAS, 2000).

Según (RAS, 2000), para aquellas áreas de drenaje que incluyan zonas con diferentes coeficientes de impermeabilidad, el valor del coeficiente de impermeabilidad representativo para toda la zona debe calcularse como promedio ponderado de los coeficientes de impermeabilidad individuales indicados en la tabla 3 para cada sub-área de acuerdo con la ecuación mostrada a continuación:

$$C = \frac{(\Sigma C X A)}{\Sigma A}$$

(Ecuación: 1)

Donde:

C = Coeficiente de impermeabilidad o escorrentía

A= Área tributaria de drenaje (ha)

Tabla 3: *Coefficiente de escorrentía en función del tipo de superficie*

Tipo de superficie	C
Cubiertas	0,75-0,95
Pavimentos asfálticos y superficies de concreto	0,70-0,95
Vías adoquinadas	0,70-0,85
Zonas comerciales o industriales	0,60-0,95
Residencial, con casas contiguas, predominio de zonas duras	0,75
Residencial multifamiliar, con bloques contiguos y zonas duras entre éstos	0,60-0,75
Residencial unifamiliar, con casas contiguas y predominio de jardines	0,40-0,60
Residencial, con casas rodeadas de jardines o multifamiliares apreciablemente separados	0,45
Residencial, con predominio de zonas verdes y parques-cementerios	0,30
Laderas sin vegetación	0,60
Laderas con vegetación	0,30
Parques recreacionales	0,20-0,35

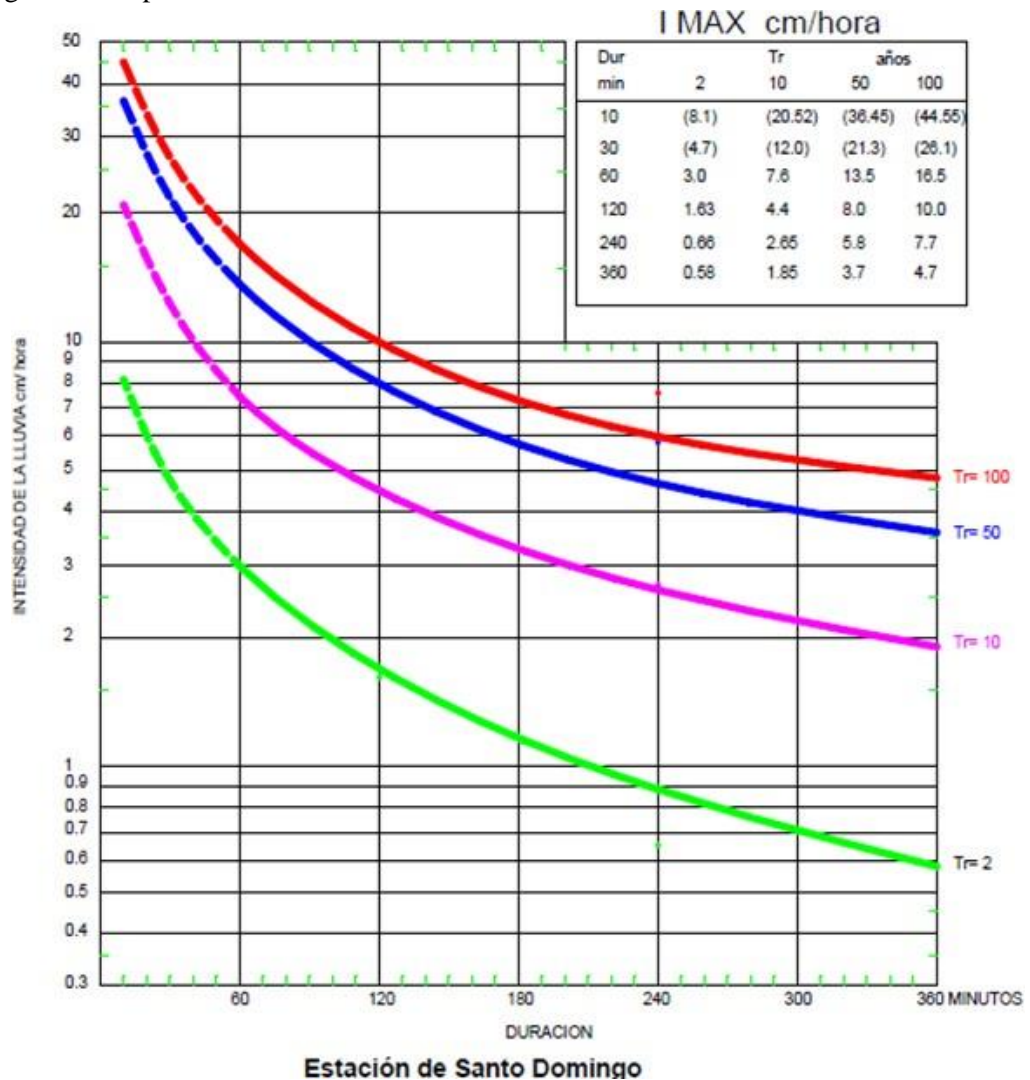
Nota: en la presente tabla se indican los distintos valores de coeficiente de escorrentía en función del tipo de superficie

Fuente: (RAS, 2000).

Intensidad de lluvia

Este valor es obtenido a través de un estudio hidrológico de la zona, del cual se obtienen las curvas de intensidad, duración y frecuencia. Es importante recordar que, de acuerdo con estas curvas, la intensidad es inversamente proporcional a la duración y directamente proporcional a la frecuencia de lluvia. Para poder obtener un valor de intensidad de lluvia en la aplicación del método racional, es necesario definir la frecuencia de la lluvia y su duración. En la figura 1 se indica las curvas de intensidad-duración-frecuencia (IDF) para la ciudad de Santo Domingo.

Figura 1. Curva Intensidad Duración (IDF) para la ciudad de Santo Domingo. Se establece como condición límite de diseño un tiempo de concentración (igual al tiempo de duración para el caso) de 15 minutos máximo, y una frecuencia de retorno mínima de 5 años. Se puede demostrar que el caudal producido será máximo si la duración de la lluvia es igual al tiempo de concentración del área drenada.



Fuente: (CAASD, 2010).

Caudal de Diseño utilizando el método racional

El método racional es un modelo empírico simple que puede utilizarse para el diseño del sistema de recolección y evacuación de aguas lluvia que tengan áreas relativamente pequeñas(...) Se permitirá el uso del método racional o alguna versión modificada del mismo para analizar áreas menores de 80 ha.

El método racional calcula el caudal pico de aguas lluvia utilizando la intensidad media del evento de precipitación con una duración igual al tiempo de concentración del área de drenaje y un coeficiente de impermeabilidad. El caudal medido a la salida de esta cuenca pequeña durante un periodo de lluvia uniforme debe incrementarse hasta un valor máximo que se mantiene constante hasta que se detenga la lluvia.

De acuerdo con lo anterior, en el método racional el caudal pico ocurre cuando toda el área de drenaje está contribuyendo, para lo cual dicho caudal es una fracción de la precipitación media. El método racional plantea las siguientes suposiciones:

El caudal pico de escorrentía en cualquier punto de la cuenca es función directa del área tributaria de drenaje y de la intensidad de precipitación promedio durante el tiempo de concentración en dicho punto.

El período de retorno del caudal pico es igual al período de retorno de la intensidad promedio de precipitación o evento de precipitación.

- La lluvia se distribuye uniformemente sobre toda el área de drenaje.
- La intensidad de lluvia permanece constante durante un período de tiempo por lo menos igual al tiempo de concentración.
- El tiempo de concentración puede ocurrir en cualquier momento a lo largo del período de lluvia; ya sea cerca al comienzo, en la mitad, o al final de ésta.
- La relación entre la lluvia y la escorrentía es lineal.
- El coeficiente de impermeabilidad es constante para lluvias de cualquier duración o frecuencia sobre área de drenaje.

Teniendo en cuenta las anteriores suposiciones el método racional tiene las siguientes limitaciones:

El método solo permite obtener un punto en el hidrograma de escorrentía, el cual corresponde al caudal pico.

- El método no permite el almacenamiento de agua en las tuberías, el cual puede atenuar el pico de caudal cuando estas son largas.
- El método no es confiable cuando las cuencas tienen formas irregulares, donde no hay un incremento uniforme
- El método supone que la intensidad de lluvia es uniforme sobre toda la cuenca
- El método puede subestimar el caudal cuando el patrón de lluvia tiende a tener un pico muy alto.

(RAS, 2000)

La expresión que debe utilizarse para el método racional varía según el sistema de unidades. La (CAASD, 2010) recomienda el uso del método racional resumido en la siguiente fórmula:

$$Q = \frac{C * I * A}{3600}$$

(Ecuación: 2)

Donde:

Q= caudal pico de aguas lluvia (l/s)

C= coeficiente de impermeabilidad

I= Intensidad de lluvia (mm/h)

A= área drenada (m²)

2.5 Normas de diseño

Velocidad

Indica la velocidad en m/s del flujo circulante por el canal.

$$V = \frac{\text{caudal circulante del tramo}}{\text{seccion del canal}}$$

(Ecuación 3)

Velocidad mínima está determinada por aquel valor que dicte la sedimentación de aquellos materiales producidos por el arrastre de la escorrentía superficial, teniendo en cuenta la naturaleza típica de dichos materiales. La (CAASD, 2010) establece como valor de velocidad mínima 0.75 m/s a caudal máximo.

Velocidad máxima depende del caudal de diseño, el radio hidráulico y del material que conforman las paredes y el fondo del canal. La (CAASD, 2010) establece como valor de velocidad máximo 3.5 m/s a caudal máximo, correspondiente al concreto reforzado como se indica en la tabla 4.

Tabla 4: *Velocidades máximas permisibles en función del material de la tubería*

Tuberías de:	Velocidad máxima permisible (M/S)
Concreto simple hasta 0.45 m de diámetro	3.0
Concreto reforzado de 0.60 m de diámetro o mayor	3.5
Asbesto – cemento	5.0
Acero galvanizado	5.0
Acero sin revestimiento	5.0
Acero con revestimiento	5.0
Polietileno de alta densidad	5.0
PVC (Policloruro de vinilo)	5.0

Fuente: (CAASD, 2010)

Pendiente

Es el valor correspondiente a la pendiente longitudinal de cada uno de los tramos.

$$S = \frac{\text{cota superior} - \text{cota inferior}}{\text{longitud del tramo}}$$

(Ecuación 4)

La pendiente mínima de diseño debe ser tal que se evite la sedimentación de las partículas producto del lavado ocasionado por la escorrentía superficial.

La pendiente máxima de diseño será la que produzca la velocidad máxima según el material.

Diámetro mínimo: el diámetro mínimo de tuberías de drenaje pluvial será de 15 pulgadas (CAASD, 2010).

Caudal de conducción: para el cálculo hidráulico de colectores secundarios y principales se podrá utilizar la fórmula de Manning.

$$Q = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2} A$$

Donde:

N= Coeficiente de rugosidad

R= Radio hidráulico (área/perímetro mojado) m S= Pendiente en m/m

Q=Caudal en m³/s

(Ecuación 5)

La CAASD recomienda los siguientes valores para el coeficiente de rugosidad de conformidad con el material (ver tabla 5)

Tabla 5 *Valores recomendados de rugosidad de materiales*

Material	N
Asbesto Cemento	0.010
Concreto Liso	0.012
Concreto Rugoso	0.016
P.V.C	0.009
Hierro Fundido	0.013

Fuente: (CAASD, 2010).

2.6 Programa de diseño de redes de alcantarillado

Los programas de análisis hidráulicos tienen la capacidad de simular condiciones de flujo uniforme en la red así como condiciones de flujo gradualmente variado y flujo no permanente teniendo en cuenta las correspondientes condiciones de frontera. El programa de análisis debe tener capacidad de incluir los efectos de las cámaras de inspección y de otras estructuras del sistema de alcantarillado, debido a las pérdidas de energía que estas causan. El programa debe incluir las ecuaciones correspondientes para el análisis de dichas pérdidas menores.

Adicionalmente, se recomienda que el programa seleccionado permita el intercambio directo de información con el sistema de información geográfica y las bases de datos definidos por la persona prestadora del servicio público de alcantarillado en el municipio.

2.7 Aporte de sedimentos

La recolección de aguas lluvias necesariamente implica también la captación de material granular y coloidal que la escorrentía superficial transporta. Igualmente, pueden captarse lodos provenientes de conexiones erradas sanitarias. Las características granulométricas de estos aportes sólidos dependen de las condiciones topográficas, tipo de suelo, protección contra la cobertura vegetal y la erosividad causada por la lluvia, entre otros factores.

Es necesario entonces identificar el tipo de material que las áreas de drenaje pueden aportar a los tramos haciendo énfasis en el componente granular, pues éste determina en buena parte los requisitos de auto limpieza de las tuberías, evacuación de lodos y la necesidad de construir desarenadores, estratégicamente ubicados antes del ingreso de las aguas lluvia a la red de tuberías. Además es necesario hacer una evaluación de elementos extraños que puedan ingresar al sistema de aguas lluvia, en particular por actividades antrópicas y comportamientos específicos de sectores de la población (ver tabla 6), donde se indican las distintas fuentes de aporte de sedimentos en los sistemas de alcantarillados.

Tabla 6: *Fuentes de sedimentos en sistemas de alcantarillados* (RAS, 2000)

Superficial	·Provenientes de la atmosfera (secos y húmedos)
	·Partículas provenientes de la erosión de material de los techos y cubiertas
	·Material originado por la abrasión de las capas de rodadura y los trabajos de repavimentación de vías
	·Partículas provenientes de los vehículos
	·Material de trabajos de construcción
	·Basura arrastrada desde las vías y superficies pavimentadas
	·Arenas, limos y gravas lavadas o arrestadas de áreas no pavimentadas
Sistema de alcantarillado	·Vegetación
	·Partículas de suelo infiltradas por fugas y fallas en los elementos de la red
	·Material originado por el desgaste de los elementos del sistema

Nota: el tipo de sedimento establecido, debe utilizarse para el cálculo de las velocidades mínimas y el esfuerzo cortante mínimo en cada uno de las tuberías que conforman la red de alcantarillado pluvial (CAASD, 2010).

2.8 Separador de vórtice hidrodinámico

Es un aliviadero moderno de tratamiento primario de aguas pluviales capaz de remover en un solo proceso residuos flotantes, solidos sedimentables e hidrocarburos arrastrados por las aguas de escorrentía desde las superficies impermeables. Componentes La unidad está compuesta por un pozo de hormigón prefabricado en cuyo interior se instalan dispositivos con el objetivo de retener y prevenir la re-suspensión de los contaminantes capturados.

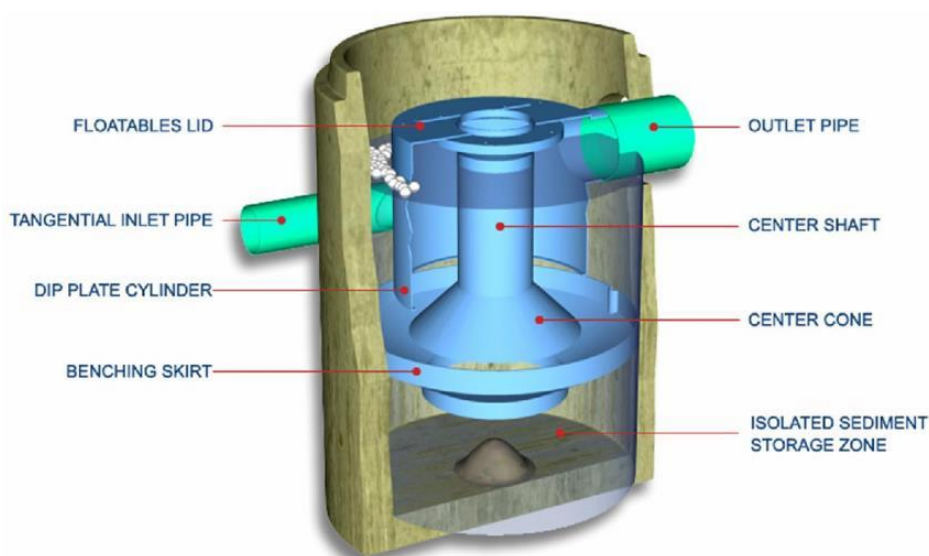


Figura 2: Separador hidrodinámico y sus componentes

Fuente: (Hydro, 2013)

2.9 Descargas

El sistema de alcantarillado de aguas pluviales conducirá el agua hacia una planta de tratamiento o hacia un cuerpo receptor en donde se verterán las aguas libremente.

En el caso de no existir sistemas de alcantarillado o posibilidades de una mejor disposición, se podrá utilizar un pozo filtrante que envíe las aguas al sub suelo, luego de un tratamiento primario del agua. La (CAASD, 2010) establece los siguientes lineamientos para su diseño:

- No se utilizará una capacidad por filtrante mayor de 350 litros por segundo (L/S).
- Se deberán realizar pruebas de percolación profunda en la zona.
- El diámetro mínimo del filtrante para drenaje pluvial será de 14 pulgadas, encamisado en 12 pulgadas.

2.10 Operación y mantenimiento de la red de alcantarillado

Todo sistema de alcantarillado debe contar con un mantenimiento en menor o mayor grado con el propósito de que funcione adecuadamente y se eviten anomalías en la época, a la vez prolongando su vida útil. (Ministerio del Agua, 2007).

Además debe contar con una política de operación, la cual debe estar acorde con el diseño del sistema para que el funcionamiento sea adecuado evitando daños a la red y molestias a los usuarios.

Dentro de las políticas de operación de la red deben estar contemplados programas de mantenimiento preventivo y correctivo con el propósito de lograr que el sistema funcione de manera óptima. Los programas tienen por objeto mantener en buenas condiciones todas las tuberías y las estructuras que conforman el sistema.

Manual de mantenimiento

Se debe generar un manual de mantenimiento donde se incluya el programa rutinario de labores de inspección, mantenimiento preventivo y reparación determinando una serie de actividades diarias, semanales, mensuales y anuales.

2.11 Calidad de aguas lluvia y clasificación de cuerpos receptores

El agua ha sido llamada “el solvente universal” debido a su capacidad para disolver numerosas sustancias. Además de este significativo aspecto, y por la necesidad de proteger los medios naturales receptores, el tema ha ido evolucionando hacia el estudio de la calidad de las aguas de la escorrentía pluvial urbana, debido a que pueden arrastrar grandes descargas de contaminantes provocando daños ambientales y estéticos en el entorno.

Existen numerosas sustancias, que contenidas en la lluvia o en la escorrentía, pueden generar cambios en especies animales, plantas o la estética en el medio receptor. Si estos cambios son inaceptables las sustancias que producen estos cambios se denominan contaminantes. Entre los contaminantes más habituales, tenemos: los sedimentos, grasas y aceites, sólidos suspendidos totales y materia flotante (Davies, 2011).

La Norma Ambiental sobre Calidad de Agua y Control de Descargas del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales, con el objetivo de proteger su calidad y posibilitar sus usos.

2.12 Marco conceptual

Cuerpo receptor: es el que recibe el efluente final del sistema de alcantarillado, pudiendo ser una masa de agua, una porción de terreno o una formación subterránea (CAASD, 2010).

Acuífero: formación geológica, grupo de formaciones, o parte de una formación, capaz de acumular una significativa cantidad de agua subterránea, la cual puede brotar, o se puede extraer para su consumo.

Agua superficial: agua que fluye o se almacena sobre la superficie del terreno. Incluye los ríos, lagos, lagunas y embalses (Calidad, 2003).

Agua subterránea: agua existente debajo de la superficie terrestre en una zona de saturación, donde los espacios vacíos del suelo o las rocas están llenos de aguas (Calidad, 2003).

Calidad de agua: relación de parámetros físicos, químicos y biológicos que definen la composición, grado de alteración, y la utilidad del cuerpo hídrico (Calidad, 2003).

Agua residual: agua cuya composición y calidad original han sido afectadas como resultado de su utilización en función de su origen como la combinación de los residuos líquidos, o aguas portadoras de residuos procedentes tanto de residencias como de instituciones públicas y privadas, establecimientos industriales y comerciales a los que puede agregarse, eventualmente, aguas subterráneas, superficiales y pluviales (Calidad, 2003).

Fuente: cualquier actividad o facilidad que pueda generar o esté generando descargas de contaminantes vertidos directa o indirectamente al medio ambiente. Las mismas se dividen en puntual y no-puntual o dispersas (Calidad, 2003).

Fuente puntual: cualquier fuente discernible, confinada y discreta de la cual se descarga o puede descargar contaminantes, incluyendo, pero no limitado a las siguientes: tuberías, zanjas, canal, túnel, trinchera, conducto, pozo, fisura o grieta discreta, recipiente, equipo, vehículo, operación de animales en una ubicación específica o embarcación (Calidad, 2003).

Fuente no-puntual: cualquier tipo de contaminación que no provenga de una fuente puntual, también conocida como fuente dispersa. Ejemplos de este tipo de contaminación son las escorrentías de aguas provenientes de zonas agrícolas, operaciones mineras y áreas de construcción (Calidad, 2003).

Precipitación: es el término que se refiere a todas las formas de humedad emanada de la atmósfera y depositada en la superficie terrestre tales como lluvia, granizo, rocío, neblina, nieve o helada.

La escorrentía superficial: consiste en la ocurrencia y el transporte de agua en la superficie terrestre (...). Comprende el exceso de la precipitación que ocurre después de una lluvia intensa y se mueve libremente por la superficie del terreno y la escorrentía de

una corriente de agua que puede ser alimentada tanto por el exceso de precipitación como por la aguas subterráneas.

Según (Sáenz, 1999) los factores que influyen en la escorrentía superficial pueden ser de naturaleza climática (relacionado con la precipitación), de naturaleza fisiográfica (ligados a las características físicas de la hoya) y de naturaleza humana relacionados con la intervención humana.

Hidrograma: gráfica que representa la variación del caudal en el tiempo e un sitio determinado en el cual se describe usualmente la respuesta hidrológica de un área de drenaje a un evento de precipitación.

Coefficiente de rugosidad: medida de rugosidad de una superficie, que depende del material y del estado de la superficie interna de la tubería.

Primer Lavado: se puede definir como la escorrentía que ocurre en los primeros 10 minutos de un evento de lluvia que caiga luego de un período seco de aproximadamente una semana.

Mantenimiento correctivo: es el mantenimiento que se le realiza a los elementos de un sistema cuando se presentan fallas.

Mantenimiento preventivo: son actividades de mantenimiento que se realizan en el sistema con el fin de evitar fallas futuras.

Cuenca endorreica: es un área en la que el agua no tiene salida fluvial hacia el océano.

Cota del terreno: indica la elevación superior e inferior sobre el nivel del mar en metros de cada uno de los tramos, obtenidas a través de las curvas de nivel suministradas por la Corporación de Acueductos y Alcantarillados de Santo Domingo (CAASD, 2010).

2.13 Marco contextual

El sector Jardines del Sur está ubicado en la parte sur del Distrito Nacional (ver anexo 1), en las coordenadas geográficas $18^{\circ}26'26.1''N$ $69^{\circ}57'01.2''W$, cuenta con una población de 8,789 habitantes según datos estadísticos del censo poblacional realizado en el año 2010 (Nacional, 2014), cubre una extensión de 166,283.23 m² (16.63 Ha), con una elevación promedio de 28 m.s.n.m.

La zona de estudio está delimitada al Norte por la avenida Cayetano Germosén, al Sur por la Avenida Independencia, al Este por la Av. Núñez de Cáceres y al Oeste por la calle 1era.



Figura 3: Mapa de ubicación de la urbanización Jardines del Sur

Análisis de suelo

El análisis de suelo fue proporcionado por el Servicio Geológico Nacional, órgano encargado oficial del estado, con el objetivo de conocer las propiedades del suelo de la zona de estudio, a través de sondeos, estudios de afloramientos y mapas hidrogeológicos se pudo determinar la composición, así como las características físicas y mecánicas del suelo.

Los resultados arrojaron que en la zona existe una formación de roca caliza coralina de color crema, con presencia de arcilla rojiza correspondiente a relleno de dolina, caracterizada por una alta permeabilidad debido a su karstificación, (ver figura 4).



Figura 4: sondeo AF119 correspondiente al área de los jardines del sur donde se muestra el tipo de suelo que se encuentra en la zona. Fuente:(Servicio Geológico Nacional, 2016).

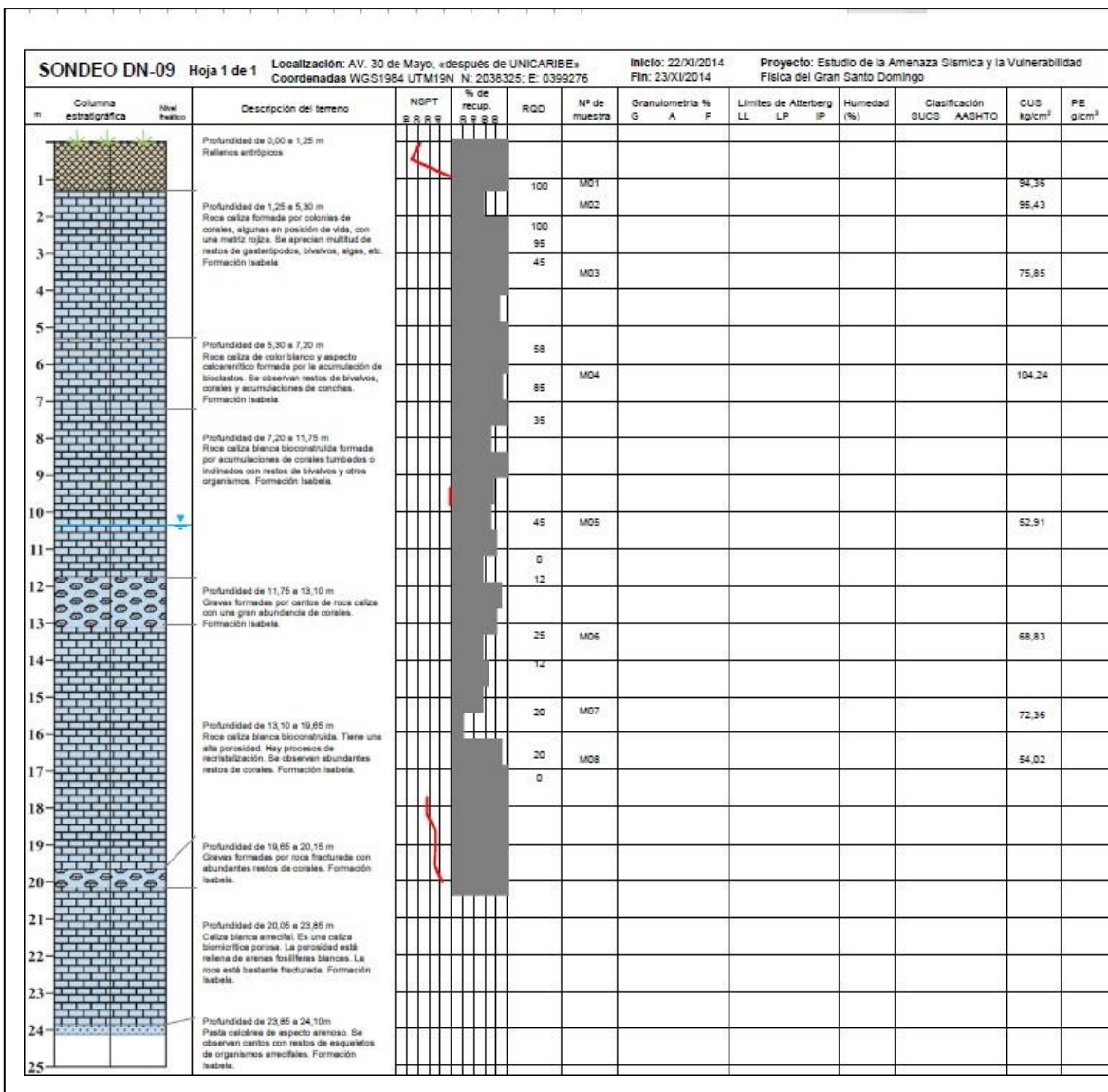


Figura 5: sondeo realizado en la zona de estudio por el Servicio Geológico Nacional (SGN).

Fuente:(Servicio Geológico Nacional, 2016).

Pluviometría de la zona

La ciudad de Santo Domingo presenta una precipitación anual promedio de 121 milímetros acumulados, según los datos recolectados del atlas de lluvias máximas del INDRHI.

A continuación se muestran los datos recolectados por la estación Mirador Sur, Distrito Nacional, correspondiente a la zona de estudio, donde se observan los valores de precipitación acumulada mensualmente expresada en milímetros.

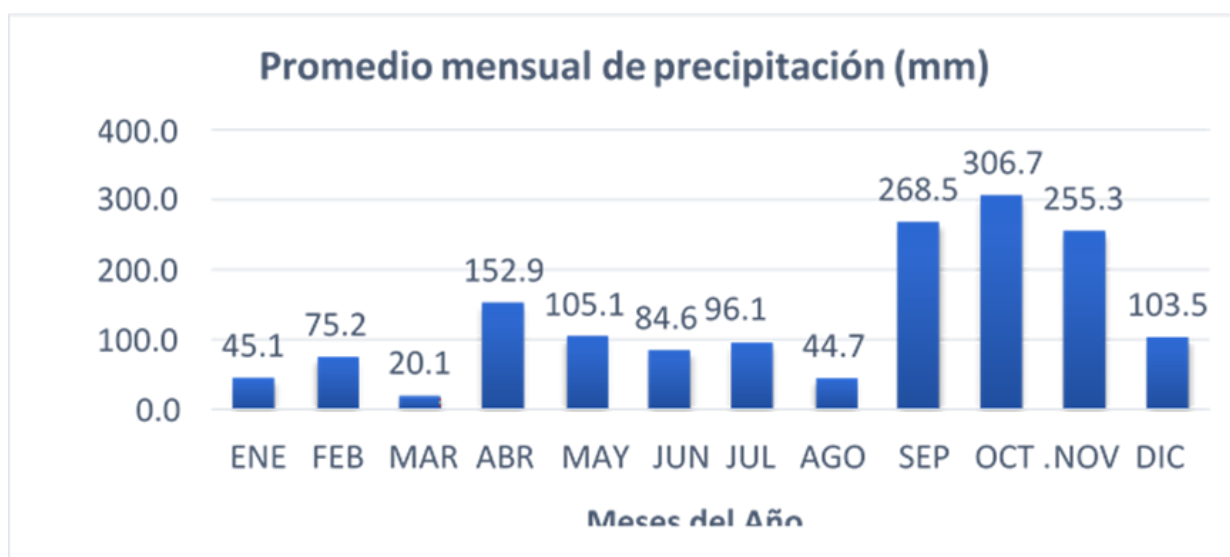


Figura 6: Datos pluviómetros de la estación Fuente:(Oficina Nacional de Meteorología, 2018)

Cuencas vertientes

El sector Jardines del Sur queda contenido en la cuenca vertiente al mar Caribe, al lado oeste (CO), como se indica en el siguiente mapa (ver figura 7).

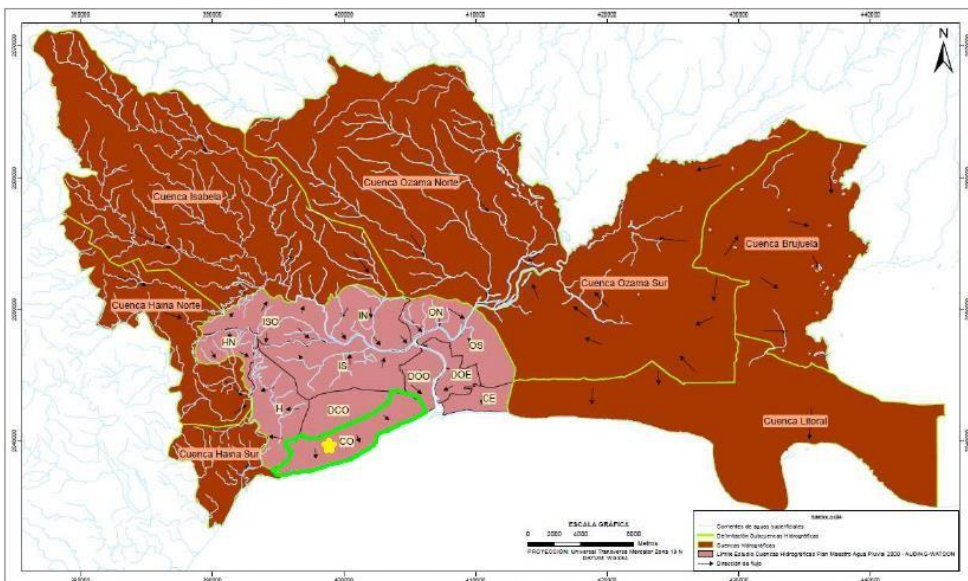
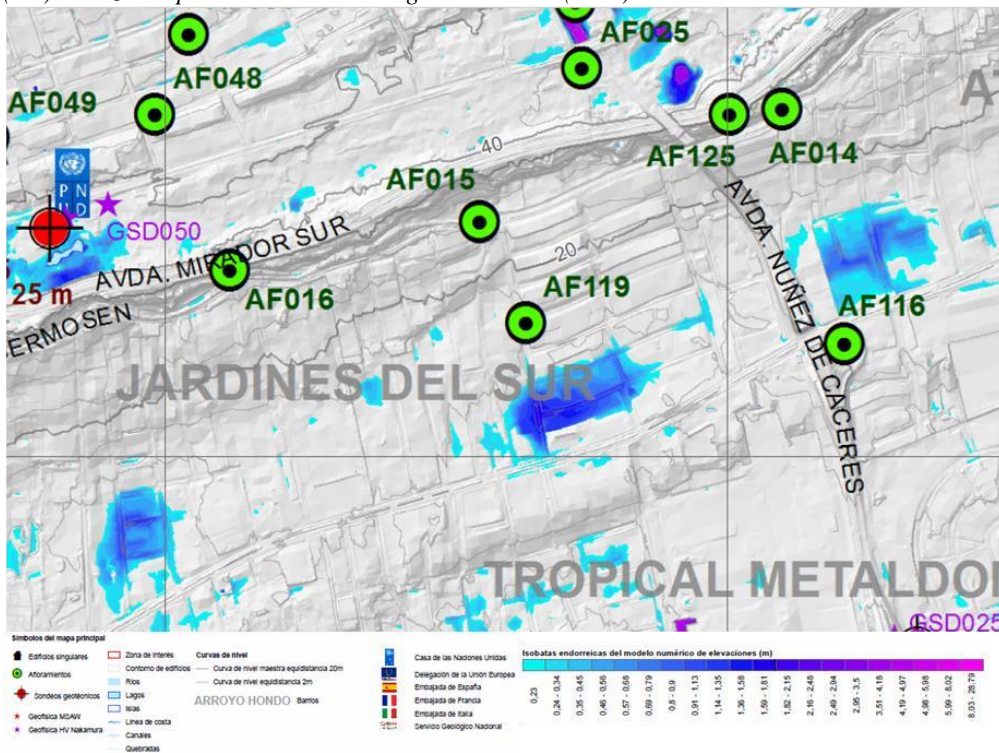


Figura 7: Mapa de cuencas vertientes de la ciudad de Santo Domingo, resaltando la cuenca vertiente al mar Caribe lado oeste (Ayuntamiento del Distrito Nacional, 2017).

Cuencas endorreicas de la zona

Figura 8: Mapa de cuencas endorreicas de la zona donde se muestran los sondeos de afloramientos (AF) realizados por el Servicio Geológico Nacional (SGN).



2.14 Formulación de hipótesis

Los separadores hidrodinámicos ayudan a optimizar las operaciones de mantenimiento y funcionamiento de los sistemas de drenaje, permitiendo una rápida evacuación de la escorrentía pluvial y mitigando los efectos nocivos a los cuerpos receptores.

CAPITULO III
MARCO
METODOLÓGICO

3.1 Enfoque de la investigación

La presente investigación presenta un enfoque cuantitativo debido a que se recopilaron y analizaron los datos referentes a las instalaciones de drenaje pluvial existente en la zona, datos que a su vez son estáticos y cuantificables.

Asimismo, tiene un enfoque cualitativo ya que se evaluó la eficiencia de la red existente, el estado actual de las estructuras, además de la factibilidad de la aplicación del separador hidrodinámico como obra complementaria para el sistema de alcantarillado.

3.1 Tipo de investigación

De acuerdo con el análisis global la presente investigación es aplicada, debido a que tiene como objetivo resolver el problema de las inundaciones y contaminación de los cuerpos receptores.

Según el objetivo esta investigación es explicativa ya que busca determinar el origen del problema y establece conclusiones y explicaciones de cómo se va a solucionar.

La investigación es de tipo bibliográfica o documental, ya que gran parte de los datos se obtuvieron a través de la revisión de material bibliográfico relacionado con el tema de estudio, como por ejemplo informes técnicos, manuales de procedimientos, internet, entre otros.

La investigación también es de campo porque una parte de los datos se obtuvieron directamente de la realidad del lugar donde están ocurriendo los hechos.

Según el tiempo de ocurrencia de los hechos y registros de la información, la investigación es retrospectiva porque se toman los datos de eventos climatológicos pasados y los efectos que tuvieron en la población; y es prospectiva porque se evalúan y se realizan proyecciones a futuro de dichos eventos.

3.4 Población o universo de estudio

El universo de estudio de esta investigación lo constituyen 11 calles asfaltadas que conforman el sector de los Jardines del Sur y la avenida Núñez de Cáceres que comprende un túnel de desagüe pluvial con una sección de 3 metros de diámetro que desemboca en el mar Caribe (cuerpo receptor de nuestro diseño).

3.5 Muestra

Como muestra de esta investigación se utiliza la totalidad del universo disponible de las calles de la urbanización Jardines del Sur, 11 calles, las cuales se analizarán con el objetivo de elaborar una propuesta de solución a la problemática que abarca esta tesis.

De igual modo la avenida Núñez de Cáceres que se utilizará como conductor principal de las aguas lluvias, ya que posee una tubería subterránea de 3 metros de diámetro con capacidad para 20 metros cúbicos por segundo (m³/s) destinada exclusivamente a la conducción de las aguas pluviales.

3.6 Técnicas de recolección de información

Un diseño de alcantarillado pluvial requiere la recopilación de ciertos datos básicos que incluyen la siguiente información:

- Mapeo de cuencas identificando las características topográficas, los límites de las cuencas hidrográficas, los patrones de drenaje existente, así como la cobertura del suelo.
- Identificación del uso del suelo a partir de la cartográfica existente y esperada durante el período de proyecto. Esta información se obtuvo a partir de la zonificación o planificación de los planes de desarrollo municipal.
- Información histórica de inundaciones en el sitio.
- Caracterización de la infraestructura de alcantarillado pluvial existente, incluyendo el tamaño, forma, material, edad, condición, etc.
- Funcionamiento y eficacia del sistema de drenaje existente.

La información bibliográfica utilizada para el desarrollo de la investigación se obtuvo a partir del análisis documental, en el cual, primero se realizó un levantamiento de las instalaciones de drenaje existentes en la zona.

También se realizó un recorrido por el litoral del mar caribe con el objetivo de identificar y georreferenciar las descargas de los diferentes sistemas de alcantarillado en los alrededores de la zona.

Además se realizaron una serie de entrevistas con el personal encargado de construir y brindar los servicios de mantenimiento a las instalaciones para obtener información más detallada acerca de la situación actual del sistema de drenaje y el origen de los problemas que lo afectan.

Se tomaron referencias de diversos libros, normas y revistas tanto nacionales como internacionales para definir los parámetros a estudiar, así como los resultados esperados.

3.7 Fuentes de la información

Las informaciones utilizadas para la realización del modelamiento de la red de alcantarillado fueron suministradas por diversas instituciones gubernamentales garantizando su autenticidad y confiabilidad; para facultar el sustento teórico y metodológico del trabajo. Asimismo permitieron el acceso y ampliación del conocimiento sobre el tema de estudio.

Los datos de información georreferenciada y delimitada, así como la elevación sobre el nivel del mar de la zona de estudio fueron proporcionados por el Departamento de Planeamiento Urbano del Ayuntamiento del Distrito Nacional (ADN) y la Corporación de Acueductos y Alcantarillados de Santo Domingo (CAASD).

Según la diversidad de medios de transmisión de la información, se emplearon las siguientes fuentes:

Fuentes documentales, como lo son informes de labores e instrumentos de control. Además del uso de fuentes bibliográficas como libros, manuales de diseño, monografías, tesis, revistas y libros digitales.

Dentro de las fuentes electrónicas consultadas estuvieron el internet, archivos electrónicos y revistas digitales.

En cuanto a las fuentes secundarias, estuvieron bases de datos de la Corporación de Acueducto y Alcantarillado de Santo Domingo (CAASD), del Ayuntamiento del Distrito Nacional (ADN), la Oficina Nacional de Estadísticas (ONE), el Servicio Geológico Nacional.(SGN), Instituto Cartográfico Dominicano (ICD), la Corporación Dominicana de Empresas Eléctricas y Estatales (CDEEE) y la Oficina Nacional de Meteorología (ONAMET).

3.8 Instrumentos de la Investigación

Se utilizó el software de ARCGIS® y la plataforma de Autodesk® Civil 3D para procesar de manera precisa los datos de extensión del área, así como los perfiles para la determinación de las cotas de los pozos de revisión de la zona de estudio, Y programas auxiliares como Microsoft Excel y Google Earth pro.

Para el diseño del alcantarillado se utilizaron los software de Bentley® StormCAD y SewerGEMS, Los cuales permiten realizar un diseño detallado y más eficiente de un sistema de alcantarillado pluvial. Los parámetros utilizados para el diseño del alcantarillado fueron escogidos en conformidad con lo descrito en el capítulo II y serán especificados en el capítulo IV de acuerdo con el diseño propuesto.

CAPITULO IV

RESULTADOS

4.1 Levantamiento de estructuras de drenaje existentes

A continuación se muestran los resultados obtenidos a partir del levantamiento realizado en la zona de estudio, donde se pudieron contabilizar y clasificar los 45 imbornales con filtrante que componen el sistema de drenaje de la urbanización Jardines del Sur (ver tabla 7).

Tabla 7: Levantamiento de instalaciones existentes

Ubicación	No. Imbornal	Configuración	Tirante teórico	Captación L/s
Calle 2	15	2	0.075	203.71
Calle 2	14	2	0.075	203.71
Avenida 6ta	13	1	0.075	117.26
Calle 2	12	2	0.075	203.71
Calle 2	10	2	0.075	0
Calle 2	11	2	0.075	203.71
Calle 2	8	2	0.075	203.71
Calle 2	6	2	0.075	203.71
Calle 2	7	2	0.075	203.71
Calle 2	4	2	0.075	203.71
Calle 2	5	2	0.075	203.71
Avenida 2da	3	2	0.075	203.71
Avenida 2da	2	2	0.075	203.71
Calle 2	1	1	0.075	117.26
Av. Independe	16	1	0.075	117.26
Avenida 1ra	17	2	0.075	203.71
Avenida 1ra	18	1	0.075	0
Avenida 1ra	19	1	0.075	117.26
Avenida 1ra	20	2	0.075	203.71
Avenida 1ra	21	3	0.075	290.16
Avenida 2da	22	3	0.075	290.16
Avenida 2da	23	3	0.075	290.16
Avenida 3ta	24	3	0.075	290.16
Avenida 3ta	25	3	0.075	290.16
Avenida 4ta	27	2	0.075	203.71
Avenida 4ta	26	3	0.075	290.16
Avenida 5ta	28	3	0.075	290.16
Avenida 6ta	29	3	0.075	290.16
Avenida 6ta	45	3	0.075	290.16
Calle 1ra	44	3	0.075	290.16
Avenida 5ta	43	3	0.075	290.16
Calle 1ra	42	1	0.075	117.26
Avenida 4ta	41	2	0.075	203.71
Calle 1ra	40	2	0.075	203.71
Calle 1ra	38	2	0.075	203.71
Avenida 2ta	39	2	0.075	203.71
Calle 1ra	37	2	0.075	203.71
Calle 1ra	36	2	0.075	203.71
Calle 1ra	35	2	0.075	203.71
Avenida 1ra	34	3	0.075	290.16
Calle 1ra	33	3	0.075	290.16
Calle 1ra	32	2	0.075	203.71
Calle 1ra	30	1	0.075	117.26
Calle 1ra	31	2	0.075	203.71

Fuente: (Autores)

Planos del sistema de drenaje existente

Luego de tabular los datos obtenidos en campo, se logró determinar que todas las estructuras de drenaje pluvial de la zona eran imbornales con pozo filtrante (Ver anexo 2), en su mayoría parcialmente obstruidos por desechos sólidos como plásticos y sedimentos, y otra gran parte se encontraban en estado de deterioro (Ver Anexo 3).

4.2 Implementación de separadores hidrodinámicos

Los separadores de vórtice hidrodinámicos son estructuras que funcionan como una unidad de asentamiento o separación para eliminar sedimentos y otros contaminantes que son ampliamente utilizados en el tratamiento de aguas pluviales.

En el mercado existe una amplia variedad de separadores hidrodinámicos, de acuerdo con el reporte la Agencia Estadounidense de Protección al Medio Ambiente (EPA, por sus siglas en inglés) (Program, 2005), los principales sistemas de separadores hidrodinámicos son los presentados a continuación:

- Continuos Deflective Separation (CDS).
- Downstream Defender®.
- Stormceptor®.
- Vortechs®.

Tomando en cuenta la alta capacidad de tratamiento, el mantenimiento económico y la facilidad de instalación y que a diferencia de otros separadores hidrodinámicos evita la re suspensión de los contaminantes.

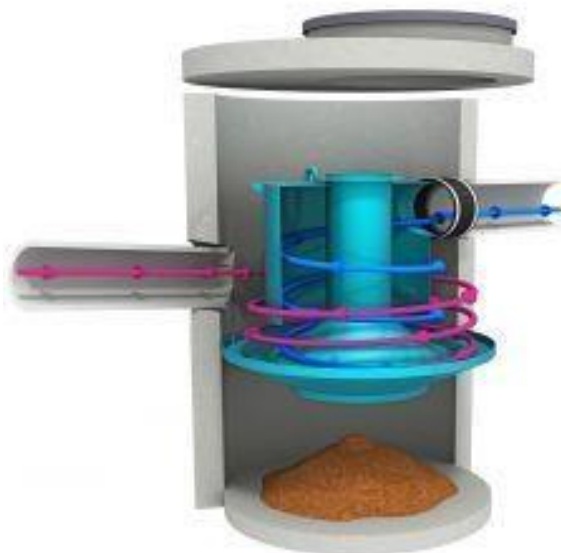
En el presente estudio se seleccionarán separadores hidrodinámicos Downstream Defender® para llevar a cabo el proceso de pretratamiento de las escorrentías de la zona de estudio.

4.2.1 Downstream Defender

El separador hidrodinámico Downstream Defender® es un dispositivo avanzado para el tratamiento de las aguas pluviales capaz de eliminar residuos flotantes, sólidos sedimentables e hidrocarburos en un solo proceso. Utiliza un cono central, una placa de inmersión y componentes internos para ayudar a la eliminación de contaminantes a medida que el agua fluye a través del dispositivo. Todos los sólidos sedimentados se almacenan en una cámara de sedimentos, mientras que el flujo es descargado a través de una tubería de salida. Los separadores hidrodinámicos Downstream Defender® han demostrado su capacidad para remover el 90 por ciento de aceites y más del 80 por ciento de los sólidos suspendidos con un diámetro de partícula promedio de 100 micras, así como el 99 por ciento de los sólidos flotantes.

El Downstream Defender® viene prediseñado en un pozo de inspección de tamaño estándar, que varía desde 4 pies hasta 12 pies de diámetro (Ver detalles en anexo). Estas unidades permiten el tratamiento de flujos desde 20 litros por segundo hasta 370 litros por segundo. Para cumplir con criterios de tratamiento específicos o para manejar flujos mayores las unidades pueden ser diseñadas hasta 40 pies de diámetro. Los costos de los equipos y su instalación varían desde diez mil hasta treintaicinco mil dólares.

Figura 9: Separador hidrodinámico Downstream Defender®



(Hydro International, 2011)

4.2.2 Funcionamiento

El funcionamiento del Downstream Defender® para el tratamiento de las aguas pluviales se basa en los principios básicos de la dinámica de los fluidos. La dirección del flujo y el diseño interno de los componentes crea un régimen hidrodinámico específico mediante un vórtice de baja energía que fuerza la separación de los contaminantes flotantes y los sólidos suspendidos.

El agua contaminada entra a la unidad de separación tangencialmente creando un flujo rotacional en la periferia de la cámara. Las partículas en suspensión precipitan hacia la parte central de la unidad atrapándose en la cámara de almacenamiento. Los sedimentos se aíslan de la zona activa o turbulenta mediante una placa de asiento y un cono descendente minimizando la re suspensión de los contaminantes almacenados. Los flotantes y aceites se dirigen hacia la superficie y se almacenan en la zona de retención formada por los componentes internos del equipo y la cámara de hormigón. El agua tratada asciende por el interior del equipo para ser descargada al medio receptor.

La configuración de los componentes internos genera un régimen hidrodinámico único mediante un vórtice que provee altos rendimientos de separación de contaminantes de las escurrientías al reducir la turbulencia, aumentar el recorrido del flujo y el tiempo de retención de las partículas, y favorecer la generación de zonas de fricción.

4.2.3 Rendimiento y especificaciones

Para el diseño del sistema de drenaje pluvial se elegirán varios modelos del Separador Hidrodinámico Downstream Defender®. Los separadores se encargarán de tratar los escurrimientos pluviales retirando los contaminantes que puedan ser arrastrados desde su origen en las calles, techos, estacionamientos y áreas de recreación del sector Jardines del Sur y zonas aledañas. Servirán como tratamiento primario antes de realizar la descarga al cuerpo receptor cumpliendo con los parámetros de las normas ambientales sobre calidad del agua y control de descargas las descargas vigentes en el país. (Ver figura 10).

El separador hidrodinámico Downstream Defender garantiza el tratamiento de escurrimientos pluviales provenientes de techos, calles o estacionamientos cumpliendo con los parámetros de la NOM-001-SEMARNAT-1996 (Ver figura 11).

4.2.4 Parámetros de diseño

Tabla 8: Parámetros de diseño de Downstream Defender

Parámetros de diseño Downstream Defender						
Diámetro de Unidad (m)	Flujo de Tratamiento (L/s) a)	Capacidad Hidráulica (L/s) b)	Diámetro de Tuberías (pulg)	Pérdida de energía (mm)	Capacidad Almacenamiento Sedimento (m3)	Capacidad Almacenamiento Aceite (lts)
1.2	20	85	12	11.5	0.535	270
1.8	85	200	18	41	1.6	1350
2.55	200	425	24	71.8	3.56	2500

Nota: a) El flujo de tratamiento o flujo de diseño es aquel flujo en el cual la unidad alcanza las eficiencias típicas de remoción de contaminantes de más del 80% de los sólidos, b) la capacidad hidráulica de la unidad es el caudal máximo que puede pasar a través del Downstream Defender sin sobrecargar la red de drenaje aguas arriba.

Para la elección de cada una de las unidades se verificó que el valor del caudal de aporte no supere la capacidad de tratamiento de las mismas como se muestra en la tabla 8.

4.2.5 Instalación

Diseño de instalación

El separador hidrodinámico se diseña para adecuarse a los parámetros específicos del sitio. El equipo se instala comúnmente de acuerdo a una configuración en línea (figura 13). También puede instalarse en una configuración fuera de línea (figura 14), utilizando una estructura derivadora aguas arriba con un vertedor integrado, para que en caso de producirse una tormenta extraordinaria que supere la capacidad del separador, desvíe los gastos pico hacia la disposición final.

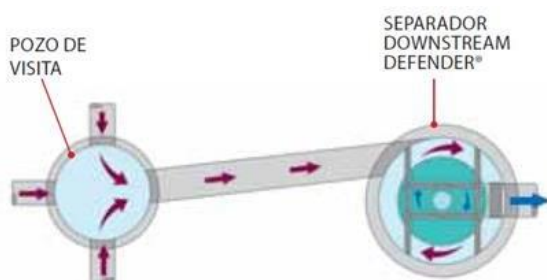


Figura 12 Configuración en línea

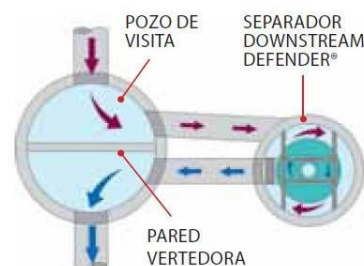


Figura 13 Configuración Fuera de Línea

Fuente (Hydro, 2013).

El tubo de entrada tangencial al Downstream Defender debe tener una pendiente de 15° entre el pozo de visita y el equipo. De igual forma, la entrada del equipo está ubicada por debajo de la salida, este arreglo asegura que el gasto de entrada, esté por debajo de la elevación del nivel de la superficie de agua para reducir la turbulencia.

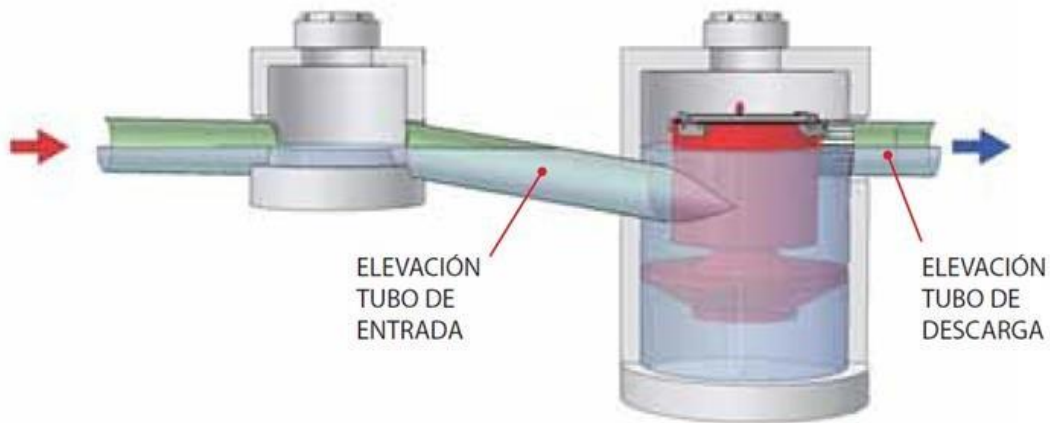


Figura 14: Downstream Defender: el tubo de entrada debe colocarse a 15 grados de inclinación para así evitar turbulencias en el flujo.

Fuente (Hydro, 2013)

Proceso de instalación

1. Preparación del sitio

Antes de desmontar y ensamblar el separador hidrodinámico, se prepara el sitio de acuerdo a los planos y guías previamente especificadas por el fabricante. (Anexos 5)

Estos trabajos previos incluyen: la excavación, contención de taludes, mejoramiento del terreno, plantillas y trazo.

2. Llegada de los equipos

Los equipos se entregan pre-ensamblados en un pozo de concreto y llegan al sitio en una plataforma. Lo cual permite un proceso de instalación rápido, seguro y replicable. Generalmente se entregan en dos o tres piezas de concreto según sus dimensiones. Esto con la finalidad de facilitar las maniobras necesarias para su descarga e instalación.

3. Ubicación y maniobra

Una vez ubicados en posición la plataforma y la grúa se repasarán los procedimientos de las maniobras con el operador de la grúa, contratista y personal de campo. Se revisa el trazo del sistema, y se realiza una prueba de carga para verificar y aprobar la seguridad de las maniobras.

4. Descarga del equipo

El proceso de descarga e instalación de cada equipo puede durar dos horas si se cumplen con los requerimientos previos.

5. Conexiones

Posteriormente se realizarán las conexiones necesarias de los equipos. Para la conexión de entrada tangencial al separador se realiza un corte de 30° al tubo. Se colocan tubos de entrada y salida, siguiendo la orientación mostrada en los dibujos de ingeniería y conectándolos a los separadores por medio de coples. Por último se realiza el sellado final con mortero.

6. Relleno de excavación

El relleno de excavación, así como la conclusión de la obra son responsabilidad del contratista. El fabricante recomienda que se compacte el terreno cada 20 cm con 80% Proctor, esto hasta llegar a nivel de piso según lo especificado en el proyecto.

4.3 Diseño de sistema de drenaje pluvial con separadores hidrodinámicos

4.3.1 Tabla de ubicación de imbornales

Desglose de los cálculos

Para el cálculo de las estructuras de captación para el sistema propuesto se utilizó el método racional para determinar los caudales de escorrentía superficial mostrados en la tabla 9, cuyos datos se presentan en el siguiente orden:

Manzana: identificación de las manzanas que componen la zona de estudio

Número de área: es la numeración de cada una de las áreas de aporte

Intensidad de lluvia: corresponde al valor de intensidad de lluvia de 85 milímetros/hora correspondiente para un período de retorno de dos años de acuerdo con el periodo de retorno mínimo para zonas residenciales con áreas tributarias menores a 2 ha como se indica en la tabla 2 y un tiempo de concentración de 15 minutos según las curvas de Intensidad Duración y Frecuencia (IDF) de la ciudad de Santo Domingo mostrada en la figura 1.

Coefficiente de escorrentía: indica el valor del coeficiente de impermeabilidad según la tabla 3 de 0.75 correspondiente a zonas residenciales asfaltadas.

Área: indica el valor del área de aporte de cada tramo en metros cuadrados a partir de la división de cada una de las manzanas, calculado por el software Autodesk Civil 3D®.

Caudal: corresponde al caudal circulante por el tramo analizado en litros por segundo, obtenido mediante el método racional según la ecuación 2.

Longitud del tramo: es la distancia longitudinal medida en metros de cada uno de los tramos.

La pendiente del terreno se calculó según lo expresado en la ecuación 4

Velocidad: indica la velocidad en m/s del flujo circulante por el canal según la ecuación 3.

Caudal de conducción del canal: se expresó utilizando la ecuación indicada en la ecuación 5.

Caudal circulante: valor correspondiente a la diferencia entre el caudal circulante por el canal y el caudal de conducción máximo de dicho canal en litros por segundo.

Disposición final: se muestra la capacidad de captación y la ubicación de las obras de captación de escorrentía pluvial de las áreas tabuladas.

**TABLA 9: CÁLCULO DE CAUDALES DE APORTE Y CAPACIDAD DE CONDUCCIÓN DE CUNETAS
DRENAJE PLUVIAL CONJUNTO**

Manzana	Área No.	Intensidad de Lluvia (mm/h)	Coeficiente de Escorrentía	Área			Caudal		Cota del Terreno		Longitud del Tramo (m)	Conducción			Disposición Final		
				Tramo (m ²)	Tributaria (m ²)	Acumulada (m ²)	Tramo (lts/seg)	Acumulado (lts/seg)	Superior (m)	Inferior (m)		Pendiente (m/m)	Velocidad (m/s)	Caudal Conducción Canal (lts/seg)	Caudal Circulante Canal (lts/seg)	Tipo	Capacidad l/s
1	1	85	0.75	724.01	0	724.01	12.82	12.8210104	24.37	24	53.4	0.00692884	0.89491263	100.67767	87.85666	1 lsf	117.26
	2	85	0.75	9164.36	0	9164.36	162.29	162.28542	24	17	410.47	0.01705362	1.40397286	157.946946	4.3385939	1 lsf + 1 lsf	234.52
	3	85	0.75	2824.36	0	2824.36	50.01	50.0147083	17.5	17	135.26	0.00366958	0.6536582	73.5365473	23.521839	1 lsf	117.26
2	4	85	0.75	3975.15	0	3975.15	70.39	70.3932813	24	23.5	160.84	0.00310868	0.59942986	67.4358591	2.95742218	1 lsf	117.26
	5	85	0.75	756.64	0	756.64	13.40	13.3988333	24	22.25	59.89	0.02922024	1.83777471	206.749654	193.350821	1 lsf	117.26
	6	85	0.75	3909.29	695.42	4604.71	69.23	81.5417396	22.25	22	161.01	0.0015527	0.4236371	47.6591732	-33.8825664	1 lsf	117.26
	7	85	0.75	695.42	0	695.42	12.31	12.3147292	23.5	22	59.04	0.0254065	1.71365289	192.78595	180.471221		
	8	85	0.75	3641.27	0	3641.27	64.48	64.4808229	22.25	22	104.26	0.00239785	0.52645535	59.226272	-5.2545957	1 lsf	117.26
	9	85	0.75	782.72	0	782.72	13.86	13.8606667	22.25	19.48	56.7	0.04885362	2.37628626	267.332204	253.471538		
	10	85	0.75	3955.78	782.72	4738.5	70.05	83.9109375	20.18	19.48	161.72	0.00432847	0.70732263	79.5737963	-4.33714115	1 lsf	117.26
3	11	85	0.75	935.16	0	935.16	16.56	16.560125	22	20.18	66.82	0.02723735	1.77432373	199.611419	183.051294	1 lsf	117.26
	12	85	0.75	3394.92	0	3394.92	60.12	60.118375	20.18	19.48	161.71	0.00432874	0.7073445	79.5762567	19.4578817		
	13	85	0.75	968.35	3394.92	4363.27	17.15	77.2662936	19.48	17.5	51.99	0.03808425	2.09808505	236.034568	158.768328	1 lsf	117.26
4	14	85	0.75	3817.02	1000.07	4817.09	67.59	85.3026534	17.5	17.49	122.91	8.136E-05	0.09697433	10.9096122	-74.3930232	1 lsf	117.26
	15	85	0.75	1000.07	0	1000.07	17.71	17.7095729	20.18	17.49	57.68	0.04663662	2.32174178	261.19595	243.486377		
	16	85	0.75	4460.08	0	4460.08	78.98	78.9805833	17.5	17.49	122.91	8.136E-05	0.09697433	10.9096122	-68.0709711	1 lsf	117.26
5	17	85	0.75	1011.04	0	1011.04	17.90	17.9038333	17.5	16.5	59.59	0.01678134	1.39271967	156.680963	138.777129		
	18	85	0.75	3885.77	1011.04	4896.81	68.81	86.7143438	16.61	16.5	171.62	0.00064095	0.27218413	30.6207144	-56.0936294	1 lsf	117.26
	19	85	0.75	850.25	0	850.25	15.06	15.0565104	17.49	16.61	58.56	0.01502732	1.31792654	148.266736	133.210225	1 lsf	117.26
6	20	85	0.75	3130.26	0	3130.26	55.43	55.4316875	16.61	16.5	171.62	0.00064095	0.27218413	30.6207144	-24.8109731	1 lsf	117.26
	21	85	0.75	4455.85	1012.01	5467.86	78.91	96.8266875	16.5	16.1	54.35	0.00735971	0.92231787	103.76076	6.9340792	2 lsf	203.71
	22	85	0.75	1113.62	0	1113.62	19.72	19.7203542	16.1	16	176.16	0.00056767	0.25615141	28.8170336	9.09667948	1 lsf	117.26
7	23	85	0.75	1012.01	0	1012.01	17.92	17.9210104	16.61	16	68.89	0.0088547	1.01166617	113.812444	95.8914336		
	24	85	0.75	3222.92	0	3222.92	57.07	57.0725417	16.1	16	176.16	0.00056767	0.25615141	28.8170336	-28.255508	1 lsf	117.26
	25	85	0.75	1167.87	1360.88	2528.75	20.68	44.7799479	16.41	16.1	56.58	0.00547897	0.79579238	89.526643	44.746695	1 lsf	117.26
	26	85	0.75	4613.32	864.39	5477.71	81.69	97.0011146	16.41	15.5	181.04	0.00502651	0.76222612	85.7504386	-11.250676	2 lsf	203.71
8	27	85	0.75	864.39	0	864.39	15.31	15.3069063	16	15.5	55.35	0.00903342	1.02182516	114.95533	99.6484241		
	28	85	0.75	5402.4	1979.58	7381.98	95.67	130.722563	16	15.5	55.35	0.00903342	1.02182516	114.95533	-15.7672321	2 lsf	203.71
	29	85	0.75	1360.88	0	1360.88	24.10	24.0989167	17	16.41	66.71	0.00884425	1.01106933	113.7453	89.646332		
8	30	85	0.75	4732.77	0	4732.77	83.81	83.8094688	17	16.5	179.255	0.00278932	0.56780572	63.8781438	-19.931325	1 lsf + 1 lsf	234.52
	31	85	0.75	1979.58	0	1979.58	35.06	35.0550625	16.5	15.5	84	0.01190476	1.17303443	131.966373	96.9113107		

**TABLA 9: CÁLCULO DE CAUDALES DE APORTE Y CAPACIDAD DE CONDUCCIÓN DE CUNETAS
DRENAJE PLUVIAL CONJUNTO**

General	Manzana	Área No.	Intensidad de Lluvia (mm/h)	Coeficiente de Escorrentía	Escorrentía			Caudal		Cota del Terreno		Conducción					Disposición Final	
					Tramo (m ²)	Tributaria (m ²)	Acumulada (m ²)	Tramo (lts/seg)	Acumulado (lts/seg)	Superior (m)	Inferior (m)	Longitud del Tramo (m)	Pendiente (m/m)	Velocidad (m/s)	Caudal Conducción Canal (lts/seg)	Caudal Circular ante Canal (lts/seg)	Tipo	Capacidad l/s
9		32	85	0.75	3479.28	0	3479.28	61.61	61.61225	23.5	23.45	23.45	141.65	0.0005298	0.20198872	22.7237309	-38.8885191	117.26
		33	85	0.75	788.68	0	788.68	13.97	13.9662083	23.5	22	59.04	0.0254065	1.71365289	192.78595	178.819742	117.26	
		34	85	0.75	3696.74	0	3696.74	65.50	80.9903833	22	21.5	148.73	0.0033618	0.6235596	70.1275453	-10.863288	117.26	
		35	85	0.75	874.86	0	874.86	15.49	15.4923125	23.45	21.6	63.84	0.0289787	1.83016324	205.893364	190.401052		
10		36	85	0.75	3248.62	0	3248.62	57.53	57.5276458	22	21.6	89.16	0.00448632	0.72010424	81.0117269	23.4840811	117.26	
		37	85	0.75	794.86	0	794.86	14.08	14.0756458	22	20.18	66.82	0.02723735	1.77432373	199.611419	185.535774	117.26	
		38	85	0.75	3497.96	0	3497.96	61.94	140.701917	20.18	19.31	89.15	0.00975883	1.06206074	119.481833	-21.2200836	203.71	
		39	85	0.75	1198.94	0	1198.94	21.23	78.758875	21.6	19.31	58.51	0.03913861	2.1269295	239.279568	160.520693		
11		40	85	0.75	3028.96	0	3028.96	53.64	53.6378333	20.18	19.31	89.15	0.00975883	1.06206074	119.481833	65.8439998	117.26	
		41	85	0.75	1334.11	0	1334.11	23.62	23.6248646	20.18	17.49	57.68	0.0463662	2.32174178	261.19595	237.571085	117.26	
		42	85	0.75	3082.04	0	3082.04	54.58	78.2026563	17.94	17.49	97.79	0.0046017	0.72930541	82.0468587	3.84420249	117.26	
		43	85	0.75	1424.12	0	1424.12	25.22	78.856625	19.31	17.94	60.26	0.02273482	1.62104892	182.368004	103.511379	117.26	
12		44	85	0.75	3652.2	0	3652.2	64.67	64.674375	17.94	17.49	97.79	0.0046017	0.72930541	82.0468587	17.3724837	117.26	
		45	85	0.75	1318.04	0	1318.04	23.34	88.0146667	17.49	16.61	58.56	0.01502732	1.31792654	148.266736	60.2520692	117.26	
		46	85	0.75	3245.66	0	3245.66	57.48	79.2996875	16.61	16.4	116.64	0.00180041	0.45618006	51.3202563	-27.9794312	117.26	
		47	85	0.75	1232.44	0	1232.44	21.82	21.8245833	17.94	16.4	59.45	0.02590412	1.73035349	194.664767	172.840309		
13		48	85	0.75	3664.31	0	3664.31	64.89	64.8888229	16.61	16.4	116.64	0.00180041	0.45618006	51.3202563	-13.5685667	117.26	
		49	85	0.75	1050.36	0	1050.36	18.60	18.600125	16.61	16	68.89	0.0088547	1.01166617	113.812444	95.212319	117.26	
		50	85	0.75	3740	0	3740	66.23	81.7275	16	15.94	100.019	0.0005989	0.26332056	29.6235632	-52.1039368	117.26	
		51	85	0.75	875.2	0	875.2	15.50	15.4983333	16.4	15.94	57.35	0.00802092	0.96285881	108.321616	92.8232823		
14		52	85	0.75	3139.66	0	3139.66	55.60	55.5981458	16	15.94	100.019	0.0005989	0.26332056	29.6235632	-25.9745826	117.26	
		53	85	0.75	1183.87	0	1183.87	20.96	20.9643646	15.5	15	92.75	0.00539084	0.78936605	88.8036809	67.8393163	117.26	
		54	85	0.75	3750.87	0	3750.87	66.42	66.4216563	16	15.5	55.35	0.00903942	1.02182516	114.95533	48.536741	117.26	
		55	85	0.75	1071.97	0	1071.97	18.98	85.4044583	15.94	15	58.37	0.01610416	1.364433017	153.487144	68.0826855	117.26	
15		56	85	0.75	4965.99	0	4965.99	194.71	6915.7	87.94	122.465521	15.5	92.75	0.000598984	0.78936605	88.8036809	-33.66184	203.71
		57	85	0.75	2260.13	0	2260.13	40.18	40.1825104	16.5	15.5	84	0.01190476	1.17303443	131.966373	91.7838628	117.26	
		58	85	0.75	4262.5	0	4262.5	75.48	75.4817708	16.5	16.1	105.114	0.00380339	0.66320885	74.6109618	0.87080901		
		59	85	0.75	1949.71	0	1949.71	34.53	110.007885	16.1	15	77.82	0.01413518	1.27820682	143.798268	33.7903821		
16		60	85	0.75	852.32	0	852.32	15.09	15.0931667	25.03	23.45	53.32	0.02963241	1.85069084	208.202719	193.109553	117.26	
		61	85	0.75	13800.25	0	13800.25	244.38	244.379427	23.45	16.1	435.57	0.01687444	1.39657766	157.114987	-87.26444	320.97	
										Área Total		166283.18 m ²	Caudal Total		2944.59798 l/s			
										16.628318 Ha		2.94459798 m ³ /s						

Plano de Sistema de Alcantarillado pluvial con separador hidrodinámico

4.3.2 Tabla de diseño de separadores hidrodinámicos

Para la elección de cada una de las unidades se verificó que el valor del caudal de aporte no supere la capacidad de tratamiento de las mismas como se muestra en la tabla 10.

Tabla 10: *tabla de Elección de separadores Hidrodinámicos*

Separador Hidrodinámico	Diámetro Separador	Caudal Diseño	Capacidad máx. Tratamiento	Capacidad máx. Hidráulica	Caudal Tratado	Capacidad Conducción
ID	m	l/s	l/s	l/s	%	%
DD-1	2.55	157.70	200	425	127%	269%
DD-2	2.55	165.90	200	425	121%	256%
DD-3	1.8	64.48	85	200	132%	310%
DD-4	1.8	26.22	85	200	324%	763%
DD-5	3	336.39	370	700	110%	208%
DD-6	2.55	201.00	200	425	100%	211%
DD-7	2.55	163.51	200	425	122%	260%
DD-8	1.8	78.98	85	200	108%	253%
DD-9	1.8	77.27	85	200	110%	259%
DD-10	3	247.26	370	700	150%	283%
DD-11	1.8	73.34	85	200	116%	273%
DD-12	3	309.83	370	700	119%	226%
DD-13	2.55	145.64	200	425	137%	292%
DD-14	3	207.59	370	700	178%	337%
DD-15	2.55	197.95	200	425	101%	215%
DD-16	3	254.71	370	700	145%	275%
DD-17	2.55	117.97	200	425	170%	360%
DD-18	1.8	50.01	85	200	170%	400%
Total		2875.75	3760	7675	131%	267%

4.3.3 Tabla de cálculos y planos del sistema de drenaje propuesto

En la siguiente sección se muestran los resultados tabulados del sistema de alcantarillado, para su cálculo se realizó un modelo de simulación en el software Bentley StormCAD® donde el sistema diseñado fue sometido a diferentes escenarios analizando el comportamiento del sistema.

Se seleccionaron tuberías de concreto para los ramales secundarios y principales, y tuberías de PVC para las tuberías que se conectan de los dispositivos del sistema (imbornales) a los pozos de inspección, tomando en cuenta los parámetros de la tabla 5 para la rugosidad de los materiales. Se determinaron los caudales que transitan por la zona así como el diámetro ideal de cada conducto.

Se trazaron las tuberías en puntos estratégicos para evitar grandes excavaciones y reducir los costos de construcción. A través de consultas en las oficinas de la CAASD, la CDEEE y mediante observación directa en el terreno se determinó que en la zona se encuentran instalaciones de drenaje sanitario con su trazado por el centro de las calles, líneas de telecomunicación por fibra óptica que recorren el eje de la acera y la inexistencia de instalaciones de cables eléctricos subterráneos.

Se consideró colocar las tuberías de drenaje pluvial en el lado norte de las calzadas de las calles que van en sentido Este-Oeste, y en el lado Oeste de las calles que van sentido Norte-Sur.

A continuación se muestran los resultados obtenidos de los cálculos de la red de alcantarillado pluvial, separados en tramos de colectores comprendidos entre los pozos de inspección donde se muestran las elevaciones invertidas de cada uno de los pozos, la pendiente y caudal de tránsito de cada uno de los colectores.

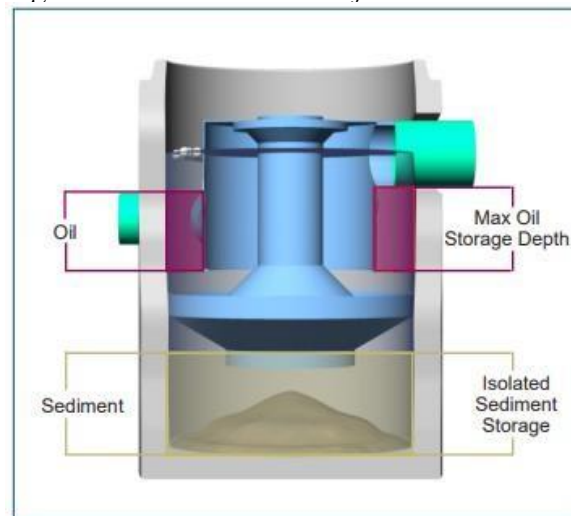
Tabla 11: cálculos y planos del sistema de drenaje propuesto

DEL REGISTRO N°	AL REGISTRO N°	LONGITUD TRAMO M	CAUDALES			S TUBERIA M/M	CONDICIONES A TUBO LLENO			COTAS TERRENO		COTAS INVERTIDAS	
			REG. SUP	TRA-MO	TOTAL		Q	D	V	REG. SUP.	REG. INF.	REG. SUP.	REG. INF.
			LPS	LPS	LPS		LPS	PULG	M/S	M	M	M	M
MH-1	MH-2	49.2	-	76.71	76.71	0.0392	888.61	21.00	3.98	23.50	21.57	22.10	20.17
MH-2	DD-1	2	76.71	80.99	157.70	0.2700	2331.30	21.00	10.43	21.57	21.97	20.15	19.61
DD-1	MH-3	63.8	157.70	0.00	157.70	0.0014	168.51	21.00	0.75	21.97	21.77	20.21	20.12
MH-3	MH-6	68	157.70	0.00	157.70	0.0015	172.05	21.00	0.77	21.77	22.00	20.10	20.00
MH-4	MH-5	31.8	-	70.39	70.39	0.0336	822.99	21.00	3.68	23.41	22.34	22.01	20.94
MH-5	DD-2	2	70.39	95.51	165.90	0.2700	2331.30	21.00	10.43	22.34	22.17	20.92	20.38
DD-2	MH-6	6.6	165.90	0.00	165.90	0.0576	1076.55	21.00	4.82	22.17	22.00	20.98	20.60
MH-6	MH-7	14.8	323.60	0.00	323.60	0.0054	329.86	21.00	1.48	22.00	22.14	19.98	19.90
DD-3	MH-7	5.9	-	64.48	64.48	0.0085	413.02	21.00	1.85	22.00	22.14	20.65	20.60
MH-7	MH-8	77.5	388.08	0.00	388.08	0.0039	398.54	24.00	1.37	22.14	22.59	19.88	19.58
MH-8	MH-11	68.5	388.08	0.00	388.08	0.0038	394.64	24.00	1.35	22.59	22.38	19.56	19.30
MH-9	MH-10	31.4	-	12.82	12.82	0.0341	337.65	15.00	2.96	23.96	22.89	22.76	21.69
MH-10	DD-4	2	12.82	13.40	26.22	0.2700	1545.51	18.00	9.41	22.89	22.60	21.67	21.13
DD-4	MH-11	6.6	26.22	0.00	26.22	0.0606	1104.52	21.00	4.94	22.60	22.38	21.58	21.18
MH-11	MH-17	64.9	414.30	0.00	414.30	0.0234	980.30	24.00	3.36	22.38	19.26	19.28	17.76
MH-12	MH-13	79.6	-	140.70	140.70	0.0020	201.15	21.00	0.90	19.54	20.00	18.14	17.98
MH-13	MH-14	72.1	140.70	0.00	140.70	0.0011	149.45	21.00	0.67	20.00	20.53	17.96	17.88
MH-14	MH-15	80.2	140.70	30.64	171.34	0.0015	173.55	21.00	0.78	20.53	20.17	17.86	17.74
MH-15	MH-16	60.4	171.34	0.00	171.34	0.0017	182.56	21.00	0.82	20.17	19.84	17.72	17.62
MH-16	DD-5	2	336.39	0.00	336.39	0.2700	2331.30	21.00	10.43	19.84	19.27	17.60	17.06
DD-5	MH-17	8.3	336.39	0.00	336.39	0.0108	467.19	21.00	2.09	19.27	19.26	17.87	17.78
MH-17	MH-22	46.4	750.69	0.00	750.69	0.0267	1047.16	24.00	3.59	19.26	17.72	17.56	16.32
MH-18	DD-6	12.4	-	201.05	201.05	0.0435	936.27	21.00	4.19	18.06	18.19	16.66	16.12
DD-6	MH-19	67.7	201.05	0.00	201.05	0.0021	204.03	21.00	0.91	18.19	18.42	16.72	16.58
MH-19	MH-20	91	201.05	0.00	201.05	0.0012	222.71	24.00	0.76	18.42	17.65	16.56	16.45
DD-7	MH-20	5.1	-	163.51	163.51	0.0529	1032.32	21.00	4.62	17.94	17.65	16.27	16.00
DD-8	MH-20	8	-	78.98	78.98	0.0113	315.48	18.00	1.92	17.44	17.65	16.09	16.00
MH-20	MH-21	69.1	242.49	0.00	242.49	0.0014	243.68	24.00	0.83	17.65	17.58	16.43	16.33
MH-21	MH-47	63.8	242.49	0.00	242.49	0.0016	253.60	24.00	0.87	17.58	17.57	16.31	16.21
MH-47	MH-22	12.2	242.49	0.00	242.49	0.0016	259.36	24.00	0.89	17.57	17.72	16.19	16.17
MH-22	MH-28	60.1	1,070.44	0.00	1070.44	0.0190	1599.57	30.00	3.51	17.72	16.51	16.15	15.01
MH-23	MH-24	31	-	144.19	144.19	0.0016	180.19	21.00	0.81	16.70	16.80	15.30	15.25
MH-24	MH-25	51.4	144.19	0.00	144.19	0.0012	153.29	21.00	0.69	16.80	17.00	15.23	15.17
MH-25	MH-26	53.4	144.19	0.00	144.19	0.0013	162.44	21.00	0.73	17.00	16.66	15.15	15.08
MH-26	DD-10	2	144.19	103.07	247.26	0.2700	2331.30	21.00	10.43	16.66	16.59	15.06	14.52
DD-10	MH-27	97.6	247.26	0.00	247.26	0.0015	251.12	24.00	0.86	16.59	16.88	15.33	15.18
MH-27	MH-28	79.9	247.26	0.00	247.26	0.0015	248.24	24.00	0.85	16.88	16.51	15.16	15.04
MH-28	MH-34	55.9	1,391.04	0.00	1391.04	0.0104	1923.74	36.00	2.93	16.51	16.15	14.98	14.40
DD-11	MH-28	10.6	-	73.34	73.34	0.0368	570.52	18.00	3.48	16.74	16.51	15.39	15.00
MH-29	MH-30	37.3	-	137.33	137.33	0.0016	179.94	21.00	0.81	16.04	15.91	14.64	14.58
MH-30	MH-31	47.6	137.33	0.00	137.33	0.0015	172.05	21.00	0.77	15.91	16.04	14.56	14.49
MH-31	MH-32	80.5	137.33	0.00	137.33	0.0014	165.85	21.00	0.74	16.04	16.17	14.47	14.36
MH-32	DD-12	2	137.33	172.50	309.83	0.2700	3328.45	24.00	11.40	16.17	16.37	14.34	13.80
DD-12	MH-33	72.5	309.83	0.00	309.83	0.0023	310.18	24.00	1.06	16.37	16.5	14.61	14.44
MH-33	MH-34	79.8	309.83	0.00	309.83	0.0024	312.56	24.00	1.07	16.5	16.15	14.42	14.23
MH-34	MH-35	20.8	1,700.86	0.00	1700.86	0.0087	1756.88	36.00	2.68	16.15	16.17	14.20	14.02
MH-35	MH-44	35.8	1,846.50	145.64	1992.15	0.0140	2231.93	36.00	3.40	16.17	16.44	14.00	13.50
MH-36	DD-14	2	-	207.59	207.59	0.2700	2331.30	21.00	10.43	15	15	13.60	13.06
DD-14	MH-37	11.7	207.59	0.00	207.59	0.0017	264.84	24.00	0.91	15	15	13.87	13.85
DD-15	MH-37	10.9	-	197.95	197.95	0.0303	780.66	21.00	3.49	15	15	13.33	13.00
MH-37	MH-38	50.4	405.54	0.00	405.54	0.0042	413.48	24.00	1.42	15	15.14	13.83	13.62
MH-38	MH-39	85.4	405.54	0.00	405.54	0.0042	415.89	24.00	1.42	15.14	15.5	13.60	13.24
MH-40	MH-41	57.5	-	83.81	83.81	0.0174	591.67	21.00	2.65	16.5	15.5	15.30	14.30
MH-41	DD-16	2	83.81	170.91	254.71	0.2700	2331.30	21.00	10.43	15.5	15.5	14.28	13.74
DD-16	MH-39	8.3	254.71	0.00	254.71	0.0542	1044.68	21.00	4.68	15.5	15.5	14.55	14.10
MH-39	MH-42	25.5	660.26	0.00	660.26	0.0039	727.31	30.00	1.59	15.5	15.76	13.22	13.12
DD-17	MH-42	5.3	-	117.97	117.97	0.0302	779.54	21.00	3.49	15.83	15.76	14.16	14.00
MH-42	MH-43	76.7	778.22	0.00	778.22	0.0018	806.87	36.00	1.23	15.76	16.34	13.10	12.96
MH-43	MH-44	79.6	778.22	0.00	778.22	0.0018	792.04	36.00	1.21	16.34	16.44	12.94	12.80
MH-44	MH-45	67.9	2,770.37	0.00	2770.37	0.0047	2792.21	48.00	2.39	16.44	17	12.78	12.46
DD-18	MH-45	6.1	-	50.01	50.01	0.0574	712.46	18.00	4.34	17	17	15.65	15.30
MH-45	MH-46	80.1	2,820.38	0.00	2820.38	0.0049	2838.07	48.00	2.43	17	17.31	12.44	12.05
MH-46	DESCARGA	80	2,820.38	0.00	2820.38	0.0049	2839.85	48.00	2.43	17.31	17.91	12.03	11.64
DD-9	MH-22	10.8	-	77.27	77.27	0.0407	600.35	18.00	3.66	17.79	17.72	16.44	16.00
DD-13	MH-35	9.3	-	145.64	145.64	0.0054	328.97	21.00	1.47	16.26	16.17	14.59	14.54

4.3.4 Mantenimiento del sistema propuesto

El mantenimiento del Downstream Defender® es sencillo y no requiere la entrada de personal a la cámara en ningún momento, ya que toda inspección y mantenimiento se puede realizar desde la superficie. Para llevarlo a cabo se utiliza un recolector tipo vector que remueve los sedimentos y flotantes atrapados. Los accesos de limpieza se localizan en la parte superior de la estructura de concreto del equipo y permite el acceso a las áreas de almacenamiento de contaminantes.

Figura 15: *Downstream Defender®*



Fuente: (Hydro, 2013)

Una vez terminado el proceso de remoción de contaminantes de la zona de grasas y aceites, así como de la zona de sedimentos, se limpia el equipo con una manguera a presión y es importante volver a dejar el sistema con la cámara de sedimentos con agua, para que funcione de forma adecuada.

Si se sigue un programa efectivo de mantenimiento, se garantiza que el agua pluvial se está recolectando y dirigiendo a través del Downstream Defender® y así asegurar que los contaminantes acumulados no están excediendo la capacidad de almacenamiento de la unidad.

Los requerimientos de inspección y mantenimiento diferirán de una ubicación a otra dependiendo de la captación, precipitación y carga contaminante, sin embargo un plan de mantenimiento típico se describe en la tabla 12.

Tabla 12: *plan de mantenimiento*

Actividad		Frecuencia
Inspección	Revisión de evidencia de mal funcionamiento	En el momento de la instalación posteriormente cada seis meses
	Revisión de acumulación de sedimentos y flotantes. Definir tazas y frecuencia de remoción	Regularmente durante el primer año de operación, después cada seis meses o cuando sea
Mantenimiento Preventivo	Remoción de sedimentos	Anualmente o según requiera
	Remoción de flotantes	Anualmente o según requiera
Mantenimiento Correctivo	Remoción de sedimentos	En cuanto se presenten derrames

NOTA: para la mayoría de limpiezas no es necesario remover todo el volumen de líquido de la cámara. Solo es requerido remover las primeras pulgadas de aceites y flotantes y el volumen total de sedimentos.

Fuente:(Autores).

Se recomienda llevar un registro detallado de la inspección y mantenimiento que se lleva a cabo, como por ejemplo la ficha mostrada en la tabla 13.

Tabla 13: *Registro de inspección y mantenimiento*

Registro de inspección y mantenimiento de separadores hidrodinámicos					
Fecha	Identificación de unidad	Profundidad de aceites y flotantes	Medida de profundidad de sedimentos	Volumen de sedimentos removidos	Comentarios

Fuente: (Hydro, 2013)

A partir de los datos obtenidos de la ficha anterior se determinan las tasas de frecuencia para las labores de mantenimiento de los componentes del sistema de una zona en específico, determinar los tiempos y los recursos necesarios para llevar a cabo las jornadas de mantenimiento.

A continuación en la figura 16 se muestra una comparación entre las labores de mantenimiento del sistema de drenaje existente en la zona de estudio y el sistema propuesto:

Figura 16: *Comparación de labores de mantenimiento*

Cuadro Comparativo	SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL	Tiempo Aproximado por unidad (horas)	Recursos Humanos	*Costo por unidad (RD\$)	Número de unidades	Costo por Jornada (RD\$)	Duración por Jornada (horas)
	Drenaje Existente (imbornales con filtrante)	4	5 hombres **	\$28,000.00	44	\$1,232,000.00	176
	Drenaje Propuesto (Separadores Hidrodinámicos)	2	2 hombres	\$8,500.00	18	\$153,000.00	36

*Notas: costos de mantenimiento por unidad con camión vector** incluye limpieza y bote de lodo extraído.*

4.3.5 Presupuesto del sistema propuesto

Tabla 14: cuadro de costos

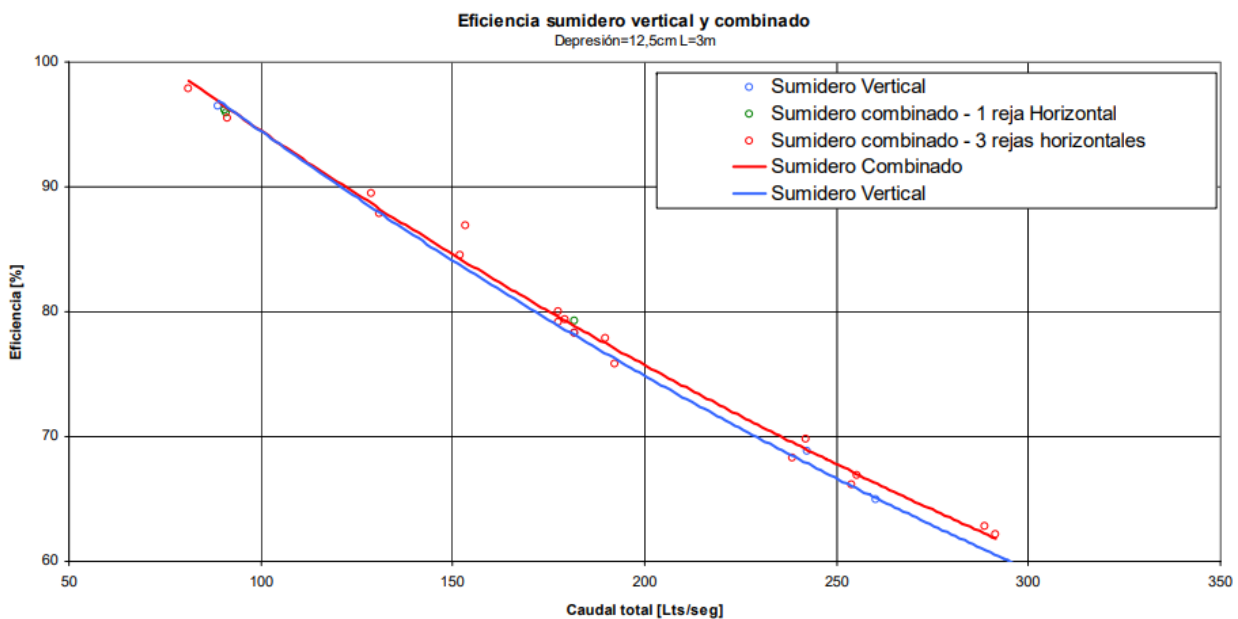
RENLÓN NO.	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	PRECIO/U	VALOR
1.0.0	Replanteo y control topográfico de niveles en la obra		KM	\$ 6,250.00 RD\$	\$ 31,250.00
	SUB-TOTAL ESTE RENGLÓN				RD\$ \$ 31,250.00
2.0.0	Movimiento de tierra				
2.1.0	Excavación material no clasificado	325225.7972	M3N	\$ 56.25 RD\$	\$ 18,293,951.09
2.2.0	Relleno de reposición con material prove	81306.44931	M3C	\$ 43.75 RD\$	\$ 3,557,157.16
2.3.0	Bote de material sobrante	6785.954	M3E	\$ 75.00 RD\$	\$ 508,946.55
2.4.0	Suministro y colocación de colchón de are	6785.954	M3E	\$ 187.50 RD\$	\$ 1,272,366.38
	SUB-TOTAL ESTE RENGLÓN				RD\$ \$ 23,632,421.18
3.0.0	Suministro y colocación de tubos				
3.1.0	Tubos de hormigon reforzados				
3.1.1	21" x 1.07m	951.30	ML	\$ 1,846.73 RD\$	\$ 1,756,793.27
3.1.2	24" x 1.07m	1059.5	ML	\$ 2,466.20 RD\$	\$ 2,612,938.90
3.1.3	30" x 1.10m	85.60	ML	\$ 3,245.00 RD\$	\$ 277,772.00
3.1.4	36" x 1.10m	268.8	ML	\$ 5,062.20 RD\$	\$ 1,360,719.36
3.1.5	48" x 1.10m	228.00	ML	\$ 7,139.00 RD\$	\$ 1,627,692.00
	SUB-TOTAL ESTE RENGLÓN				RD\$ \$ 7,635,915.53
3.2.0	Tubos de PVC SDR 41 *5.79m				
3.2.2	Drenaje de 18"	41.4	ML	\$ 99.14 RD\$	\$ 4,104.25
3.2.4	Drenaje de 24"	16	ML	\$ 176.48 RD\$	\$ 2,823.68
	SUB-TOTAL ESTE RENGLÓN				RD\$ \$ 6,927.93
4.0.0	Construcción obras especiales				
4.1.0	Registros	46	UD	\$ 31,250.00 RD\$	\$ 1,437,500.00
4.2.0	Construcción de Imbornales de una parrill	21	UD	\$ 21,993.63 RD\$	\$ 461,866.23
4.5.0	Remozamiento Imbornales	23	UD	\$ 6,000.00 RD\$	\$ 138,000.00
4.6.0	Corrección área de asfalto en calle	2650.60	KM	\$ 2,500.00 RD\$	\$ 6,626,500.00
4.7.0	Suministro e instalación de DD® 1.8m	6.00	UD	\$ 1,083,333.50 RD\$	\$ 6,500,001.00
4.7.0	Suministro e instalación de DD® 2.55m	7	UD	\$ 1,437,500.00 RD\$	\$ 10,062,500.00
4.8.0	Suministro e instalación de DD® 3.00m	5	UD	\$ 1,750,000.00 RD\$	\$ 8,750,000.00
4.9.0	Limpieza final		P.A	\$ 125,000.00 RD\$	\$ 125,000.00
	SUB-TOTAL ESTE RENGLÓN				RD\$ \$ 34,101,367.23
	TOTAL GENERAL				RD\$ \$ 65,407,881.87

Conclusiones

En este trabajo de grado se ha laborado una propuesta para solucionar el problema que en materia de drenaje pluvial afecta al gran Santo Domingo, a partir del desarrollo de un sistema de drenaje sostenible desde un punto de vista técnico y ambiental tomando como zona de prueba la urbanización Jardines del Sur, aportando una solución económica y sobre todo funcional. Para tales fines se ha presentado la situación del sistema de drenaje pluvial existente con el objetivo de evidenciar factibilidad de la implementación de los separadores hidrodinámicos en los sistemas de drenaje tradicionales como estructuras que faciliten las labores de mantenimiento y a su vez garanticen el pretratamiento de la escorrentía pluvial.

La zona de estudio de esta investigación está constituida por un sistema de drenaje compuesto por imbornales con pozos filtrantes, en su mayoría en mal estado, debido a estas condiciones se ha optado por realizar un remozamiento a aquellos imbornales que se pretendan re-utilizar en el sistema de drenaje propuesto. La acumulación de desechos sólidos y el mal estado de los imbornales indican que no se lleva a cabo una rutina de mantenimiento continua. Además del mal estado de los imbornales se identificó otro problema indirecto que limita la capacidad de captación de los imbornales ante la ocurrencia de precipitaciones, así como las múltiples capas de pavimento que durante años se les han agregado a las calles del sector, las cuales varían desde una hasta dos pulgadas, provocando que la rasante de la calle se eleve hasta 10 centímetros sobre el bordillo del contén, lo que hace que el tirante de agua aumente, incrementando el caudal circulante por el contén lo cual disminuye la eficiencia de los, sumideros como se puede observar en la figura 17.

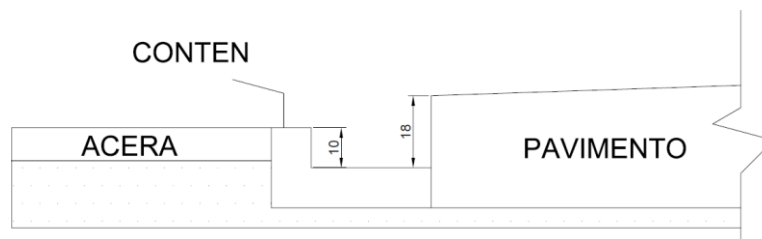
Figura 17: Eficiencia de sumidero vertical y combinado



Nota: se muestra la eficiencia de absorción de un sumidero en función de su caudal de entrada, comparando el sumidero vertical y el combinado.

Fuente (Chirichigno, 2015)

Figura 18: sección promedio de contén



Nota: se puede observar que la capa de pavimento de la calle es mayor que el bordillo del contén provocando que ante la ocurrencia de precipitaciones el agua no puede esparcirse hacia la calzada, haciendo que el tirante del canal aumente y reduciendo la eficiencia de los imbornales. Fuente (Autores)

En esta tesis se investigó acerca del uso de los separadores hidrodinámicos como unidades de tratamiento primario en un sistema de drenaje pluvial urbano, evaluando su eficacia en el sector de los Jardines del Sur.

En el diseño de drenaje pluvial propuesto se ha logrado implementar los separadores hidrodinámicos como estructuras para el tratamiento primario de la escorrentía pluvial. Se ubicaron 18 separadores hidrodinámicos en los puntos de mayor concentración de las aguas conducidas por los contenes durante la tormenta de diseño.

Estos separadores hidrodinámicos tendrán la capacidad para tratar el 160% del caudal de aguas lluvias en la urbanización Jardines del Sur removiendo más del 80% de los sólidos suspendidos totales y con la capacidad de conducir los caudales picos originados durante eventos extremos evitando inundaciones en las calles del sector.

Recomendaciones

- Implementar separadores hidrodinámicos en conjunto con otras estructuras de control en zonas que requieran un tratamiento localizado de la escorrentía pluvial y que dispongan de las condiciones para llevar a cabo la instalación de los equipos, con el objetivo de lograr el reaprovechamiento de las aguas provenientes de las lluvias.
- Se propone la implementación de políticas que incentiven al sector privado a incursionar en el campo de técnicas para el desarrollo de sistemas de drenaje sostenible.
- Se propone realizar un análisis de factibilidad económica que permita encontrar la ubicación óptima de las estructuras de manejo de la escorrentía pluvial bajo las diferentes condiciones del sistema de drenaje existente.
- Implementar un programa de mantenimiento proactivo que prolongue la vida útil de los sistemas de drenaje pluvial.
- Construcción de un edificio especializado en la gestión de los sistemas de drenaje pluvial con la capacidad para albergar las maquinarias utilizadas en las labores de mantenimiento y el personal calificado para su administración en la ciudad de Santo Domingo..
- Desarrollar campañas de concientización ciudadana para la conservación de las estructuras de drenaje.
- Crear una base datos con información actualizada acerca de los sistemas de drenaje y alcantarillados.
- Llevar a cabo un proceso de reparación de las calzadas de las calles, con el fin de evitar que las capas de pavimento no superen los 2.5cm de altura con respecto a la batea del contén.
- Desarrollar un método para la identificación las tuberías de alcantarillado para evitar conexiones erradas, como por ejemplo, pintar una franja de un color brillante en la parte superior de las tuberías.

Bibliografía

- Auding, Watson . (2013). *Plan Director de Drenaje Pluvial Para la Ciudad de Santo Domingo*. Santo Domingo: Consorcio Auding.
- Ayuntamiento del Distrito Nacional . (2017). *Dianostico Territorial del Distrito Nacional*. Santo Domingo.
- Ayuntamiento del Distrito Nacional. (1994). *Plan director para el desarrollo urbano de la ciudad de Santo Domingo*. Santo Domingo: Editora Taller.
- CAASD, C. d. (2010). *Normas de Diseño*. Santo Domingo: CAASD.
- calidad, M. d. (2003). *Norma ambiental sobre calidad del agua y control de descargas*. Santo domingo.
- Chirichigno, M. A. (2015). *Evaluacion de Capacidad de un sumidero*. Universidad Nacional de Rosario.
- Davies, D. B. (2011). *Urban Drainage* . New York: Taylor & Francis Group.
- Diario Libre. (08 de Septiembre de 2009). Túnel de la Núñez entró en funcionamiento. *Diario Libre*.
- Hidropluviales. (2013). *Proyecto de aprovechamiento pluvial Prolongación Edison, Monterrey*. Monterrey: Hidropluviales.
- Hydro. (2013). *Ficha Tecnica Downstream Defender* .
- Hydro International. (2011). *Industrial Scrap Metal Terminal Cleans up Stormwater in Historic Port City*. New Hampshire: Hydro International.
- Lopez, R. A. (2003). *Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados* . Bogota: Escuela colombiana de ingenieria .
- Ministerio del Agua. (2007). *Manual de operación y mantinimientos de sistemas de alcantarillado sanitario en zonas rurales*. La Paz: ABBASE LTDA.
- Nacional, S. G. (2015). *Informe geotecnico de Santo Domingo*. Santo Domingo.
- Novoa, L. (2004). *Evaluación de sistemas de control para redes de alcantarillado*. Bogotá: Universidad de los Andes.
- Program, E. E. (2005). *Madison water utility Administration Building Site*. wisconsin.
- RAS, D. d. (2000). *Reglamento Tecnico del sector de Agua potable y saneamiento basico RAS-2000*. Bogota D.C.: Ministerio de Desarrollo Economico.
- Saenz, G. M. (1999). *Hidrologia en la ingenieria*. Bogota: Escuela colombiana de Ingenieria.
- Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales . (1996). *Norma oficial mexicana para el control de descargas* . México: Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales .

Anexos

Anexo 1: Detalle de Ubicación

Figura 10: valores de calidad del agua máximos permisibles para descargas

Descargas de agua residual municipal en aguas superficiales y el subsuelo.

POBLACIÓN (HAB. EQUIV.)	VALORES MÁXIMOS PERMISIBLES								
	-	MG/L							(NMP/100 ML)
	pH	DBO ₅	DQO	SS	N-NH ₄	N-(NH ₄ +NO ₃)	P-PO ₄	Cl. Res.	C.T.
<5,000	6 - 8.5	50	160	50	-	-	-	0.05	1000
5,001 - 10,000	6 - 8.5	45	150	45	-	-	-	0.05	1000
10,001 - 100,000	6 - 8.5	35	130	40	10	18	3	0.05	1000
>100,000	6 - 8.5	35	130	35	10	18	2	0.05	1000

Nota: La producción de DBO₅ de un habitante equivalente es aproximadamente 60 g/hab/d
 Demanda biológica de oxígeno (DBO₅) Nitrógeno de amonio y nitratos N-(NH₄+NO₃)
 Demanda química de oxígeno (DQO) Fósforo de los ortofosfatos (P-PO₄)
 Sólidos en suspensión (SS) Cloro residual (Cl. Res.)
 Nitrógeno del amonio (N-NH₄) Coliformes totales (C.T.)

Descargas de agua residual municipal en aguas costeras.

POBLACIÓN (HAB. EQUIV.)	VALORES MÁXIMOS PERMISIBLES								
	-	mg/L							(NMP/100 ml)
	pH	DBO ₅	DQO	SS	N-NH ₄	N-(NH ₄ +NO ₃)	P-PO ₄	Cl. Res.	C.T.
<5,000	6 - 8.5	100	400	90	-	-	-	0.1	1000
5,001 - 10,000	6 - 8.5	100	400	90	-	-	-	0.05	1000
10,001 - 100,000	6 - 8.5	70	300	75	30	50	8	0.05	1000
>100,000	6 - 8.5	70	300	75	30	50	8	0.05	1000

Nota: La producción de DBO₅ de un habitante equivalente es aproximadamente 60 g/hab/d
 Demanda biológica de oxígeno (DBO₅) Nitrógeno de amonio y nitratos N-(NH₄+NO₃)
 Demanda química de oxígeno (DQO) Fósforo de los ortofosfatos (P-PO₄)
 Sólidos en suspensión (SS) Cloro residual (Cl. Res.)
 Nitrógeno del amonio (N-NH₄) Coliformes totales (C.T.)

Fuente: (calidad, 2003)

Figura 11: valores de contaminantes máximos permisibles en las descargas de aguas residuales según las normas mexicanas.

LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA METALES PESADOS Y CIANUROS																				
PARÁMETROS (*)	RÍOS						EMBALSES NATURALES Y ARTIFICIALES				AGUAS COSTERAS						SUELO		HUMEDALES NATURALES (B)	
	Uso en riego agrícola (A)		Uso público urbano (B)		Protección de vida acuática (C)		Uso en riego agrícola (B)		Uso público urbano (C)		Explotación pesquera, navegación y otros usos (A)		Recreación (B)		ESTUARIOS (B)		Uso en riego agrícola (A)			
	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.		
Arsénico	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2
Cadmio	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2	0.05	0.1	0.1	0.2
Cianuros	1.0	3.0	1.0	2.0	1.0	2.0	2.0	3.0	1.0	2.0	1.0	2.0	2.0	3.0	1.0	2.0	2.0	3.0	1.0	2.0
Cobre	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0	4	6.0	4	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0	4	6.0	4.0	6.0
Cromo	1	1.5	0.5	1.0	0.5	1.0	1	1.5	0.5	1.0	0.5	1.0	1	1.5	0.5	1.0	0.5	1.0	0.5	1.0
Mercurio	0.01	0.02	0.005	0.01	0.005	0.01	0.01	0.02	0.005	0.01	0.01	0.02	0.01	0.02	0.01	0.02	0.005	0.01	0.005	0.01
Níquel	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4
Plomo	0.5	1	0.2	0.4	0.2	0.4	0.5	1	0.2	0.4	0.2	0.4	0.5	1	0.2	0.4	5	10	0.2	0.4
Zinc	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20

(*) Medidos de manera total.
P.D. = Promedio Diario P.M. = Promedio Mensual N.A. = No es aplicable
(A), (B) y (C): Tipo de Cuerpo Receptor según la Ley Federal de Derechos.

Fuente: (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 1996)

Anexo 2: Detalle de Imbornales

Detalles de imbornales

Figuras: imbornales de dos y tres parrillas

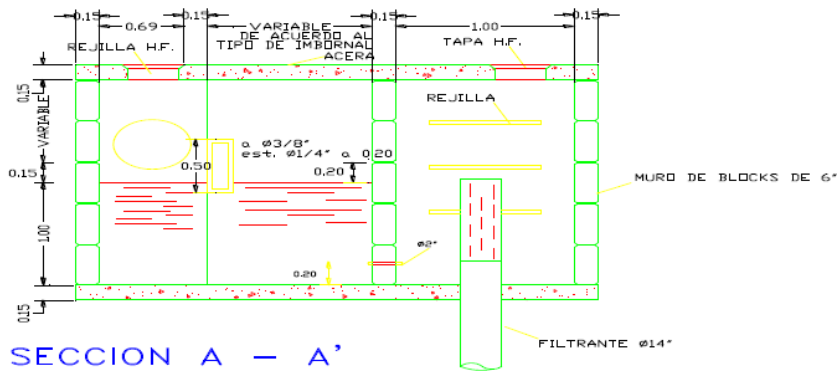
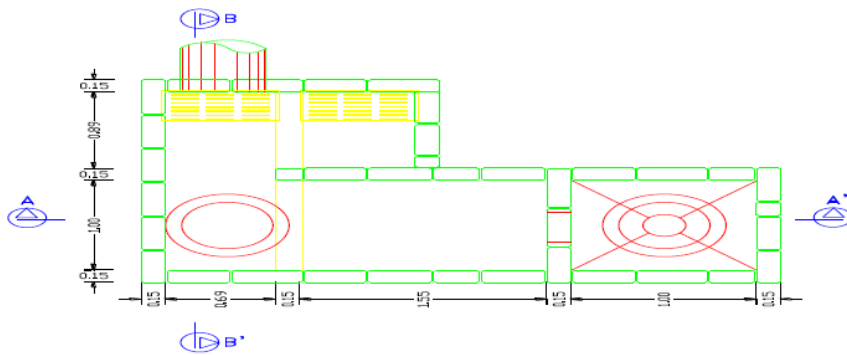
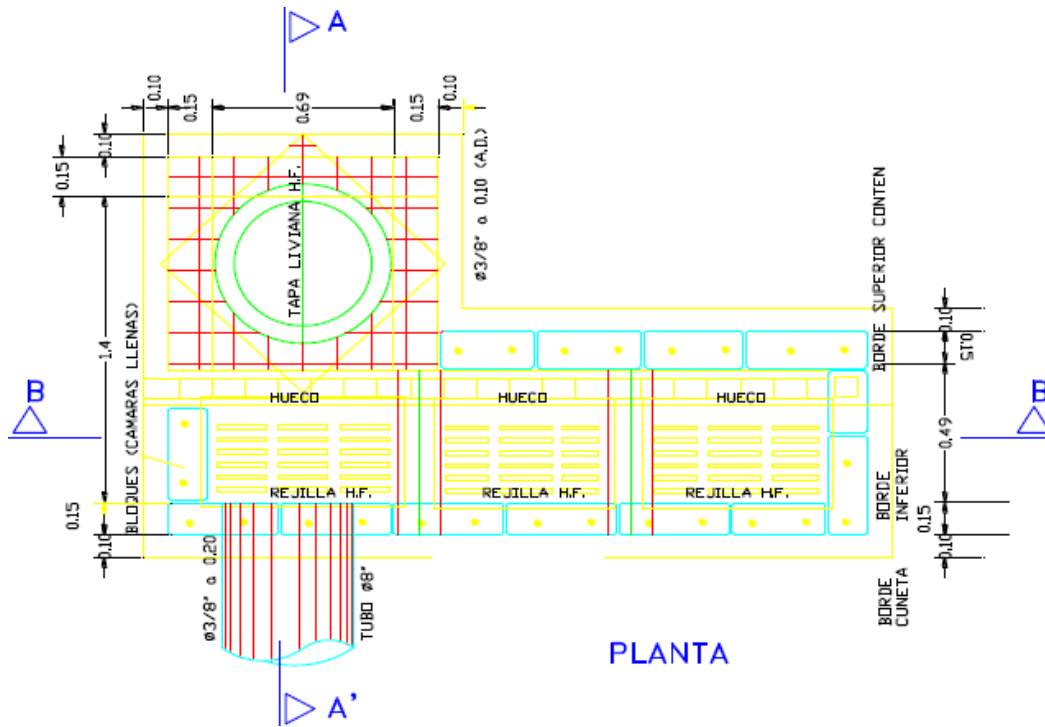
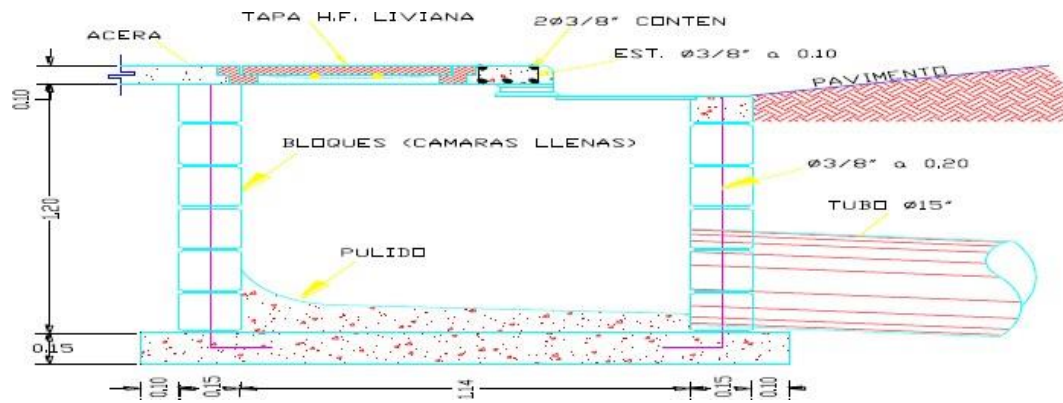


Figura: sección típica para imbornales de dos y tres parrillas sin filtrante



Fuente: (CAASD, 2010)

Anexo 3: Imágenes de Levantamiento de Drenaje existente

Imágenes de levantamiento de drenaje existente







Anexo 4: Descarga Libre Colector Núñez de Cáceres

Descarga libre colector Núñez de Cáceres







Anexo 5: Detalles de Downstream Defender®

Anexo 6: Detalle de Pozo Inspección y Empalme